PHOTOFACT

Por JOSEPH A. RISSE

medidores e provadores eletrônicos

é fácil compreendê-los!



medidores e provadores eletrônicos

é fácil compreendê-los

Por JOSEPH A. RISSE



ANTENNA EDIÇÕES TÉCNICAS LTDA.
Caixa Postal 1131 • 20000 • Rio de Janeiro • Brasil

Traduzido da edição original norte-americana

ELECTRONIC TEST EQUIPMENT

Tradutor: **Luiz Iran Meira**
Supervisor Redatorial: **Gilberto Affonso Penna**
sob licença especial de **Howard W. Sams & Co., Inc.**

FICHA CATALOGRÁFICA

(Preparada pelo Centro de Catalogação-na-fonte
do Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ)

	Risse, Joseph A.
R482m	Medidores e provadores eletrônicos: é fácil compreendê-los; tradução de Luiz Iran Meira. Rio de Janeiro, Antenna, 1976.
	195 p. ilust. 22 cm (Photofact).
	Do original em inglês: Electronic test equipment.
	1. Eletrônica — Aparelhos e instrumentos 2. Instrumentos de medida 3. Medidores eletrônicos I. Título II. Série.
	CDD — 621.381548
76-0653	CDU — 621.38.083



ANTENNA EDIÇÕES TÉCNICAS LTDA.

Caixa Postal 1131 • 20000 • Rio de Janeiro • Brasil

prefácio

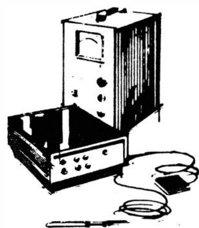
Este livro trata, de forma essencialmente prática, dos diversos instrumentos de prova e medida desenvolvidos para acompanhar a impressionante expansão da indústria eletrônica. A quase totalidade destes instrumentos, utilizados em laboratórios e nas oficinas de reparação, pode ser incluída em uma das seguintes categorias: amperímetros, voltímetros, ohmímetros, wattímetros, osciloscópios, geradores de sinais e provadores de componentes. Cada um deles se destina a resolver um problema específico dentro da Eletrônica.

Em suas páginas, você encontrará convenientemente explanadas a função de cada controle, os princípios de operação e as aplicações típicas destes instrumentos, permitindo-lhe familiarizar-se com o assunto. Com o conhecimento adquirido, você não só compreenderá melhor a finalidade do instrumento, como tirará dele muito maior proveito — e será mesmo capaz de repará-lo ou calibrá-lo quando necessário. Para isto, o texto descreve, em detalhes, um instrumento típico dentro de cada grupo, mostrando também as diferenças importantes entre os demais modelos.

O livro foi escrito especialmente para os estudantes e técnicos em Eletrônica, embora contenha informações valiosas mesmo para engenheiros já formados.

JOSEPH A. RISSE

sumário



1 medidores e provadores eletrônicos

TIPOS DE INSTRUMENTOS

A cada dia que passa, torna-se mais e mais importante conhecer os instrumentos de medida utilizados em Eletrônica. A automatização, o controle remoto e o emprego de computadores em larga escala reduzem cada vez mais a demanda de trabalho braçal e não especializado; entretanto, as oportunidades para quem saiba utilizar instrumentos de medida, particularmente no campo da Eletrônica, aumentam incessantemente.

A imensa maioria dos instrumentos de medida eletrônicos serve para medir tensão, corrente, resistência, fator de potência, capacitância, indutância, impedância, freqüência, fase, intensidade de sinal, volume de som, ganhos e perdas relativos e outras grandezas correlatas. Alguns instrumentos se destinam a produzir sinais de características conhecidas, seja para provar aparelhos eletrônicos, seja para determinar, por comparação, as características de um sinal desconhecido.

Todos os instrumentos de medida acima mencionados serão estudados; entretanto, a limitação de espaço obrigou a um maior destaque nos seguintes pontos: *como funcionam* os instrumentos, suas *possibilidades,* e *como são operados.* Propositadamente, foram evitadas considerações muito detalhadas sobre cada componente.

MEDIDA DE TENSÃO, CORRENTE E RESISTÊNCIA

Os instrumentos usados para medir estas grandezas podem ser *simples* — caso em que medirão, por exemplo, apenas

corrente ou resistência — e *múltiplos,* hipótese em que, mediante comutação adequada, poderão medir duas ou mais destas grandezas.

Entre os instrumentos simples, temos os voltímetros, amperímetros, ohmímetros, e pontes de resistência. Os instrumentos múltiplos são chamados de *multímetros:* geralmente, medem tensão, corrente e resistência, e por esta razão são às vezes chamados de V.O.M. (das iniciais de Voltímetro, Ohmímetro e Miliamperímetro). O V.E. — ou Voltímetro Eletrônico — é também um instrumento múltiplo, já que normalmente mede tensão e resistência — sendo encontrado em duas versões, uma a válvulas e outra a transistores.

Os multímetros são, via de regra, alimentados por baterias de pilhas secas, ao passo que os V.E., especialmente os a válvulas, quase sempre são alimentados pela rede de distribuição. Seus correspondentes de estado sólido oferecem, às vezes, a opção entre as duas formas de alimentação. Os voltímetros eletrônicos modernos, incluindo algumas vezes faixas de medição de correntes, teriam sem dúvida tornado obsoletos os multímetros, se não fossem os recentes progressos destes últimos. Os principais aspectos que mantiveram o multímetro em condições de competir com o voltímetro eletrônico são: instrumentos mais sensíveis; proteção contra sobrecargas; maior precisão e robustez; maior facilidade de leitura. Como a escolha se torna cada dia mais difícil, muitos fabricantes agora oferecem instrumentos que combinam as funções de multímetro e de voltímetro eletrônico.

A escolha do instrumento adequado para determinada finalidade não é ditada apenas, como poderia parecer, pelo tipo do mesmo, mas também pelo custo, precisão, confiabilidade e disponibilidade de peças para reposição.

CIRCUITOS BASICOS DE MEDIDA

O "sistema", ou circuito, elétrico consiste em um certo número de elementos elétricos — *ativos,* como uma bateria ou um gerador, e *passivos,* como resistores, capacitores e indutores — interligados por fios. A bateria da Fig. 1-1 exerce uma força ou pressão elétrica, chamada *tensão,* que é medida em *volts.* Convencionou-se admitir que os fios têm diâmetro suficiente para permitir a passagem de toda a corrente fornecida pela bateria ou gerador. O valor do resistor, que é sua *resistência,* é medido em *ohms.* A quantidade de cargas elé-

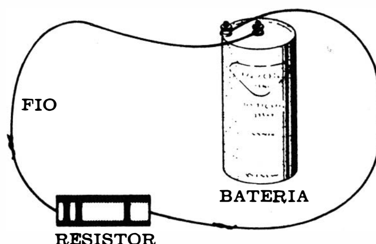


Fig. 1-1 — Circuito elétrico básico.

tricas que passa pelo resistor e pelos fios na unidade de tempo constitui a *corrente,* que é medida em *ampères.*

Medida de tensão

O instrumento que mede tensão é chamado de voltímetro. Como se vê na Fig. 1-2, o voltímetro é sempre ligado em paralelo com a bateria ou outra fonte de tensão qualquer; pode-se dizer que o potencial em um dos lados da bateria é alto, sendo baixo no outro pólo. Diz-se que os terminais opostos da bateria têm polaridade oposta — um lado é positivo (+) e o outro negativo (−).

Os voltímetros têm resistência interna muito alta. Quando o instrumento é ligado em paralelo com a bateria, a tensão desta força a passagem de uma pequena corrente pelo voltímetro. Esta corrente passa então por uma bobina (solidária a um ponteiro) que pode girar em torno de um eixo, criando em conseqüência um campo magnético em torno da bobina. Este campo magnético se opõe ao campo produzido por um ímã permanente, localizado também no interior do voltímetro, forçando o conjunto a girar. O ponteiro indica, então, sobre uma escala calibrada, a tensão medida.

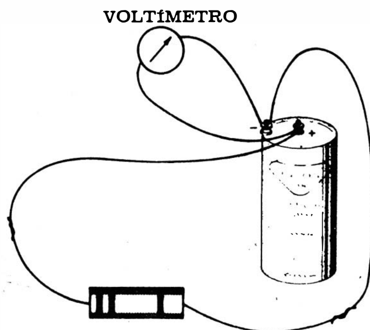


Fig. 1-2 — Ligação de um voltímetro para medir a tensão da pilha.

Sendo o voltímetro ligado em paralelo com a bateria e o resistor, sua inclusão praticamente não altera a corrente que passa pelo resistor, porque a bateria pode fornecer a pequena corrente adicional necessária para acionar o voltímetro. Se, entretanto, o voltímetro for de um tipo que necessite de uma corrente substancial para operar, comparada com a corrente no circuito principal, então o funcionamento do circuito será afetado. Um voltímetro deste tipo seria chamado de *baixa sensibilidade,* ou de baixa resistência. Por outro lado, um instrumento capaz de operar com correntes diminutas é chamado de *alta sensibilidade,* ou de alta resistência interna.

Normalmente, deve-se preferir os instrumentos de alta sensibilidade para as medidas de tensão, mas freqüentemente é possivel utilizar um instrumento de baixa sensibilidade — e, portanto, mais barato — quando a corrente por ele solicitada é muito pequena, comparada com a corrente no circuito principal, ou quando a fonte de tensão pode suprir esta corrente sem transtornos.

Medida de corrente

A corrente, que é a taxa de variação do fluxo de cargas elétricas, é medida por um instrumento semelhante ao voltímetro. Este instrumento, que é chamado de *amperímetro,* deve ser colocado no caminho da corrente, sendo ligado *em série* com o resistor ou outro componente, como se vê na Fig. 1-3. Toda a corrente do circuito passa pelo amperímetro; por esta razão, sua resistência interna deve ser muito baixa. De maneira análoga ao voltímetro, a corrente a ser medida atravessa uma bobina, que gira em torno de seu eixo e faz com que o ponteiro indique, sobre a escala, o valor da corrente. Existem amperímetros de vários tipos, sendo muito grande a variedade de resistência interna e preço dos instrumentos disponíveis no comércio. A resistência interna do amperíme-

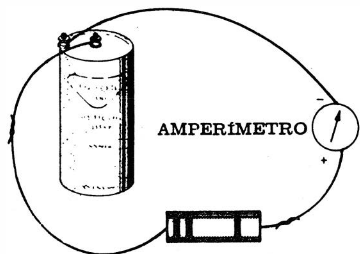


Fig. 1-3 — O amperímetro indica o valor da corrente no circuito.

tro deve ser muito baixa, comparada com a resistência do circuito externo; mas, como os amperímetros de resistência interna mais baixa são também os de maior preço, é por vezes forçoso aceitar uma conciliação entre preço e sensibilidade.

Medida de resistência

A resistência de um componente é medida com o auxílio de um ohmímetro; este, na realidade, responde à *corrente* que passa pelo circuito de medição, mas sua escala foi calibrada de maneira a indicar diretamente a resistência, uma vez que a tensão é conhecida. Um instrumento deste tipo consiste basicamente em um amperímetro e uma bateria, como se vê na Fig. 1-4. Sendo conhecida a tensão da bateria, quando o ohmímetro for ligado a um componente, a corrente no circuito — e, portanto, a deflexão do ponteiro — será inversamente proporcional à resistência: quanto maior a resistência, menor será a corrente, e vice-versa.

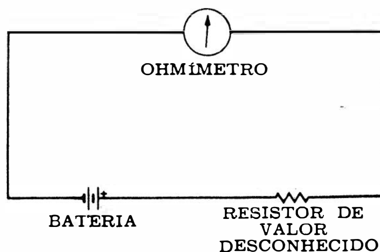
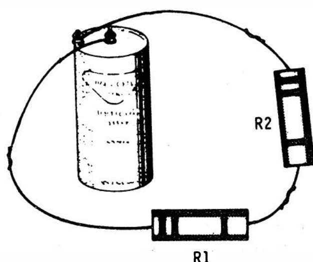


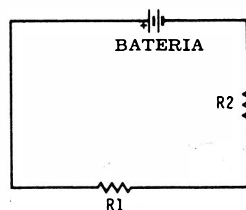
Fig. 1-4 — Circuito básico de um ohmímetro.

CIRCUITOS EM SÉRIE E EM PARALELO

A Fig. 1-5A mostra dois resistores, R1 e R2, ligados em série; o diagrama esquemático deste circuito é o mostrado



A) Circuito real.

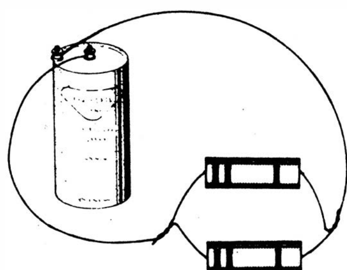


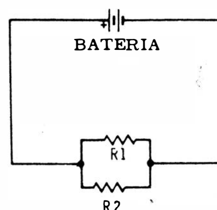
B) Diagrama esquemático.

Fig. 1-5 — Bateria ligada a dois resistores em série.

na Fig. 1-5B. Se a tensão neste circuito (fornecida pela bateria) permanecer constante, a corrente irá diminuindo à medida que sejam acrescentados mais resistores em série.

Por outro lado, dois resistores ligados em paralelo (como se vê na Fig. 1-6A) produzem uma situação oposta: à medida em que sejam acrescentados mais resistores em paralelo, a corrente no circuito irá aumentando, desde que a tensão permaneça constante. A Fig. 1-6B mostra o diagrama esquemático correspondente a esta situação.

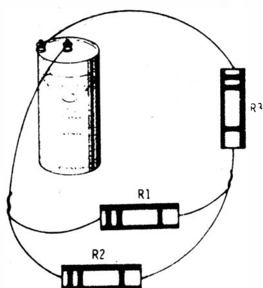


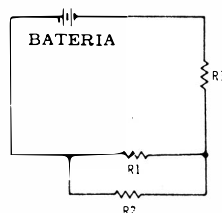


A) Circuito real. *B) Diagrama esquemático.*

Fig. 1-6 — Bateria ligada a dois resistores em paralelo.

O circuito de Fig. 1-7 ilustra dois resistores em paralelo, R1 e R2, estando o conjunto em série com um terceiro resistor, R3. Em circuitos práticos, podem ser encontradas diversas combinações de resistores em série e em paralelo. Muitas vezes é necessário medir a tensão nos terminais de um resistor





A) Circuito real. *B) Diagrama esquemático.*

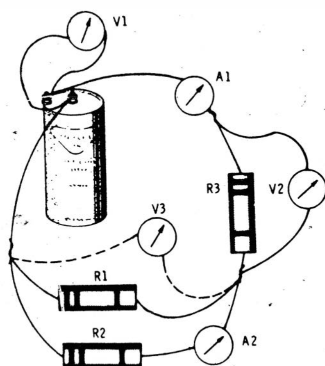
Fig. 1-7 — Ligação em série-paralelo.

e a corrente que os atravessa: a Fig. 1-8 exemplifica a maneira correta de ligação do voltímetro e do amperímetro em um circuito que contenha três ou mais resistores.

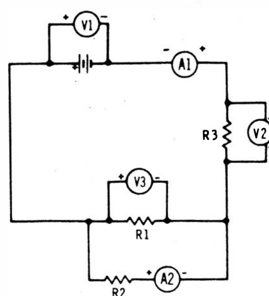
O voltímetro V1 está ligado em paralelo com a fonte de tensão — no caso, os terminais da bateria — e mede, portanto, a tensão total do circuito. O amperímetro A1 mede a corrente total; o voltímetro V2, ligado aos terminais do resistor R3, mede a "queda de tensão" sobre este resistor. Esta queda de tensão depende não só do resistor R3, mas também de todos os outros resistores do circuito. V3 mede a queda de tensão sobre R1, que é a mesma sobre R2, uma vez que os dois resistores estão em paralelo. A inclusão de A2 em série com R2 não modifica esta situação, porque a resistência interna deste instrumento, tratando-se de um amperímetro, é desprezível.

A leitura de A2 corresponde à corrente em R2. Embora não exista nenhum amperímetro em série com R1, para medir a corrente que o atravessa, é muito fácil descobrir seu valor: basta subtrair, da corrente total do circuito (que é indicada por A1), a corrente que atravessa o resistor R2, indicada por A2. A diferença é a corrente que passa por R1.

Há outras conclusões importantes que podemos tirar deste exemplo, e que se aplicam a circuitos semelhantes: a soma das quedas de tensão no circuito, por exemplo, deve igualar



A) Circuito real.



B) Diagrama esquemático.

Fig. 1-8 — Método de ligação de voltímetros e amperímetros.

a tensão total do mesmo, que é a da bateria. Isto significa que a leitura de V3, somada à leitura de V2, deve igualar o valor de tensão indicado por V1. Por outro lado, se o amperímetro A1 for deslocado para o outro lado da bateria ou do resistor R3, sua leitura continuará a mesma.

LEIS DA ELETRICIDADE

Lei de Ohm

Se for conhecida a tensão aplicada a um resistor e a corrente que por ele circula, é possível determinar indiretamente o valor de sua resistência (medida em *ohms*). Da mesma forma, se forem conhecidas a tensão e a resistência, será possível prever qual a corrente no circuito; finalmente, se soubermos os valores de resistência e de corrente, poderemos saber qual a tensão aplicada.

Estas afirmativas são válidas porque os valores de tensão, corrente e resistência em um circuito mantêm entre si uma relação simples e bem definida, conhecida como *Lei de Ohm,* que diz:

$$\text{Tensão} = \text{Corrente} \times \text{Resistência}$$

O símbolo utilizado para indicar tensão é a letra E; sendo corrente e resistência representados, respectivamente, pelas letras I e R (sempre maiúsculas), a Lei de Ohm costuma ser apresentada sob a forma simplificada $E = R \times I$, ou, simplesmente,

$$E = R\ I \qquad (1)$$

Nesta fórmula, a tensão (E) deve ser expressa em volts, a corrente (I) em ampères e a resistência (R) em ohms.

A fórmula (1) é usada para determinar a tensão, sendo conhecidas a corrente e a resistência. No exemplo da Fig. 1-9A, temos uma corrente de 5 ampères, sendo a resistência de 25 ohms; substituindo estes valores na fórmula, encontramos

$$E = 5 \times 25$$

Portanto, a resposta é *125 volts.*

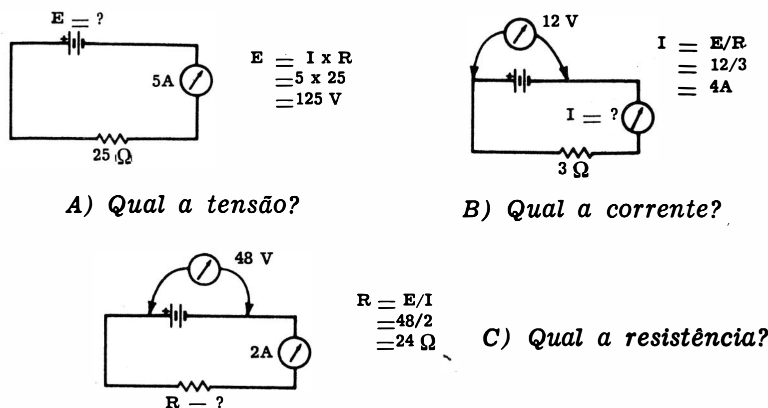


Fig. 1-9 — Circuitos ilustrando a lei de Ohm.

A fórmula anterior pode ser rearranjada para facilitar o cálculo, quando conhecemos a tensão e a resistência e desejamos determinar a corrente:

$$I = \frac{E}{R} \qquad (2)$$

Isto significa, simplesmente, que I é igual a E dividido por R. Um exemplo de utilização desta fórmula pode ser encontrada na Fig. 1-9B: a bateria é de 12 volts e o resistor tem 3 ohms. Substituindo estes valores na fórmula (2), teremos

$$I = \frac{12}{3}$$

A resposta, que é o quociente de 12 por 3, será *4 ampères.*

A terceira forma pela qual se apresenta a lei de Ohm permite calcular a resistência, sendo conhecidas a tensão e a corrente:

$$R = \frac{E}{I} \qquad (3)$$

No exemplo da Fig. 1-9C, o voltímetro indica que a tensão da bateria é de 48 volts, e o amperímetro revela ser a cor-

rente no circuito igual a 2 ampères: mesmo que o valor do resistor seja desconhecido, podemos calculá-lo, usando a fórmula (3):

$$R = \frac{48}{2}$$

ou seja, o resistor tem *24 ohms.*

Medida e cálculo da potência

Outra grandeza cujo conhecimento é importante para a análise dos circuitos elétricos é a *potência,* que é medida em *watts.* A potência pode expressar a saída de um amplificador de áudio, a especificação de uma lâmpada incandescente, ou o consumo de um aquecedor elétrico. Indiretamente, os "watts" nos informam sobre a quantidade de som produzida pelo amplificador, o brilho da lâmpada e o calor produzido pelo aquecedor.

A potência pode ser calculada se forem conhecidos quaisquer dois dos valores anteriormente mencionados, ou seja, tensão, corrente e resistência. Se conhecermos tensão e corrente, teremos a potência, que é designada pela letra P, igual a

$$P = E \times I \qquad (4)$$

Se tivermos a corrente e a resistência, a fórmula ficará

$$P = R \times I^2 \qquad (5)$$

Finalmente, com a tensão e a resistência, podemos obter a potência por meio da fórmula

$$P = \frac{E^2}{R} \qquad (6)$$

Em todas as fórmulas acima, a potência será dada em *watts,* desde que a tensão seja expressa em volts, a corrente em ampères e a resistência em ohms. Os exemplos que se seguem elucidam o cálculo da potência em diversos casos:

Exemplo 1 — Determinar a potência dissipada em um resistor pelo qual circulam 3 ampères de corrente, sendo a tensão aplicada igual a 25 volts. Ver Fig. 1-10A.

Solução — Neste caso, devemos usar a fórmula (4):

$$P = E\ I = 25 \times 3 = 75 \text{ watts}$$

Exemplo 2 — Calcular a potência dissipada por um resistor de 1.000 ohms, quando percorrido por uma corrente de 0,5 ampère. Ver Fig. 1-10B.

Solução — Como são conhecidos I e R, devemos usar a fórmula (5):

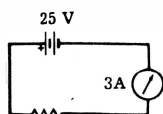
$$P = R\ I^2 = 1.000 \times (0{,}5)^2 = 1.000 \times 0{,}25 = 250 \text{ watts}$$

Exemplo 3 — Determinar a potência dissipada, quando a tensão sôbre um resistor de 16 ohms é de 40 volts. Ver Fig. 1-10C.

Solução — Usando a fórmula (6), teremos

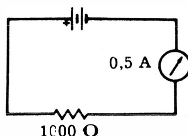
$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{40^2}{16} = \frac{1.600}{16} = 100 \text{ watts}$$

Evidentemente, qualquer das fórmulas (4), (5) ou (6) pode ser transposta se a potência for conhecida e necessitarmos determinar qualquer uma das outras grandezas, como se vê no seguinte exemplo:



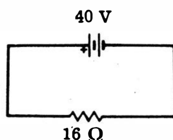
$P = E \times I$
$= 25 \times 3$
$= 75$ W

A) E e I são conhecidos.



$P = I^2R$
$= 0{,}5^2 \times 1000$
$= 0{,}25 \times 1000$
$= 250$ W

B) I e R são conhecidos.



$P = E^2/R$
$= 40^2/16$
$= 1600/16$
$= 100$ W

C) E e R são conhecidos.

Fig. 1-10 — Exemplos de cálculo da potência dissipada.

Exemplo 4 — Qual a corrente que passa pelo resistor de um ferro de soldar de 1.000 watts, se a tensão aplicada é de 100 volts?

Solução — A corrente é o elemento desconhecido, sendo dadas a tensão e a potência; dispondo convenientemente os termos da fórmula (4), obteremos

$$I = \frac{P}{E} = \frac{1.000}{100} = 10 \text{ ampères.}$$

MEDIDORES

Tipos de medidores

O medidor utilizado na maioria dos instrumentos para a medida de tensão, corrente e resistência é do tipo *eletromagnético*. Os tipos *eletrostático* e *térmico* também apresentam alguma importância, visto serem empregados em alguns casos.

No medidor eletromagnético, a corrente que passa por uma bobina provoca um campo magnético, e a interação deste campo com um outro, produzido por um ímã permanente ou por outra bobina, provoca a deflexão do ponteiro; no medidor eletrostático, a deflexão é resultante da repulsão ou atração entre dois campos elétricos, não havendo portanto consumo de corrente por parte do instrumento. No medidor do tipo térmico, a deflexão é provocada pelo calor que a passagem da corrente produz.

Normalmente, os medidores vêm acompanhados por chaves, terminais de ligação, ajuste de zero ou de calibração, etc. A Fig. 1-11 mostra um par de pontas de prova, que são utili-

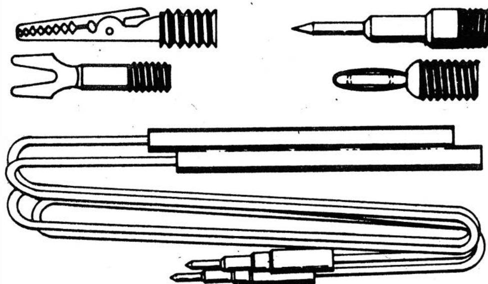


Fig. 1-11 — Pontas de prova com uma garra jacaré.

zadas para efetuar a indispensável ligação entre o instrumento e o circuito: este conjunto é constituído por uma pega, em uma das pontas, adequada à ligação nos terminais do medidor, um pedaço de fio flexível, com aproximadamente meio metro de comprimento, e uma ponta de prova na outra extremidade. Esta é, às vezes, substituída por uma garra jacaré, para facilitar uma conexão semipermanente com o circuito.

Normalmente, os instrumentos que se destinam ao emprego com pontas de prova possuem os terminais de ligação na parte da frente da caixa; alguns instrumentos, entretanto, são previstos para ligação permanente ao circuito, e neste caso os terminais podem ficar na parte traseira.

Um medidor típico

A Fig. 1-12 ilustra um medidor típico. Observam-se o *ponteiro,* em repouso sobre o zero, a *escala,* graduada de zero a 1 (em divisões de 0,02), e o *ajuste mecânico de zero,* que é

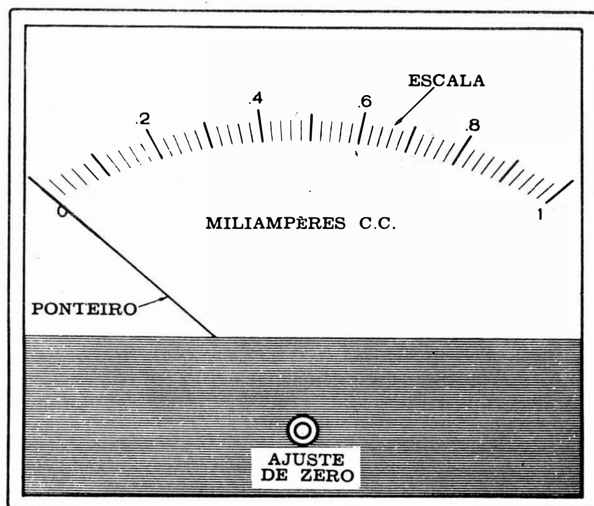


Fig. 1-12 — Medidor com escala calibrada de 0 a 1 mA.

usado para colocar o ponteiro exatamente sobre o zero, quando em repouso, ou seja, quando nenhuma corrente passa pelo instrumento. Embora este ajuste raramente precise ser retocado, é sempre conveniente, antes de fazer uma medida, ve-

rificar se o ponteiro está sobre o zero, na posição em que o medidor vai ser realmente utilizado (vertical ou horizontal).

Este tipo de medidor, mostrado em detalhe na Fig. 1-13, é conhecido por *galvanômetro de d'Arsonval,* em homenagem a seu inventor, e é o tipo mais utilizado hoje em dia. Na Fig. 1-13, vemos um ímã permanente, em forma de ferradura, com uma pequena bobina colocada no entreferro. Solidário à bobina está o ponteiro, que se desloca sobre a escala ou mostrador; a bobina pode girar livremente em torno de um eixo. A corrente a ser medida passa pela bobina, criando um

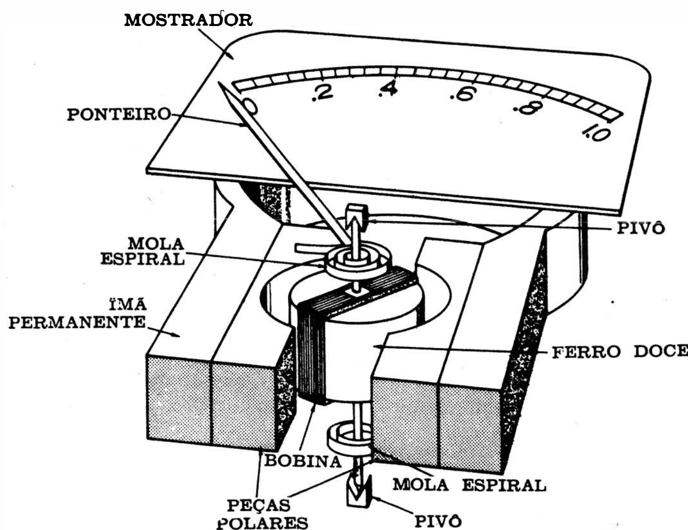


Fig. 1-13 — Medidor tipo d'Arsonval, ou de bobina móvel.

campo magnético; a interação entre este campo e o produzido pelo ímã permanente provoca o deslocamento do ponteiro, que tem de vencer a força exercida pelas molas em espiral. Estas asseguram o retorno a zero quando a corrente se extingüir.

Se a corrente que passa pela bobina variar rapidamente seu valor, *o instrumento indicará o valor médio destas variações;* assim, o galvanômetro de d'Arsonval não responderá a uma corrente alternada, cujo valor médio é zero. Em outras palavras, o galvanômetro de d'Arsonval não pode ser útilizado, diretamente, para medir correntes alternadas; como veremos mais tarde, a solução encontrada foi a *retificação*

da corrente alternada (transformando-a em corrente contínua), antes de ser aplicada à bobina do medidor.

No galvanômetro mostrado na Fig. 1-13, as pontas do eixo repousam sobre dois pivôs. As molas em espiral que se opõem ao movimento da bobina são enroladas em direção oposta, de forma a anular a influência de variações na temperatura ambiente; quando não há corrente na bobina, o ponteiro permanece sobre o zero à esquerda da escala.

Na maioria dos medidores, a corrente entra e sai da bobina através das duas molas em espiral; desta maneira, o único atrito sofrido pelo sistema móvel será o produzido pelos pivôs de sustentação.

Quanto maior for a corrente pela bobina, mais fortemente será o ponteiro deslocado para a direita sobre o mostrador; normalmente, os instrumentos comerciais dispõem de um batente para limitar o curso e impedir que o ponteiro avance além de um ponto predeterminado.

A suspensão por fita

Em 1961, foi anunciado um notável aperfeiçoamento no mecanismo de suspensão dos medidores: como se vê na Fig. 1-14, foram eliminadas as molas em espiral e os dois pivôs de sustentação. A bobina móvel e o ponteiro são agora mantidos em posição por duas tiras de uma liga de platina-

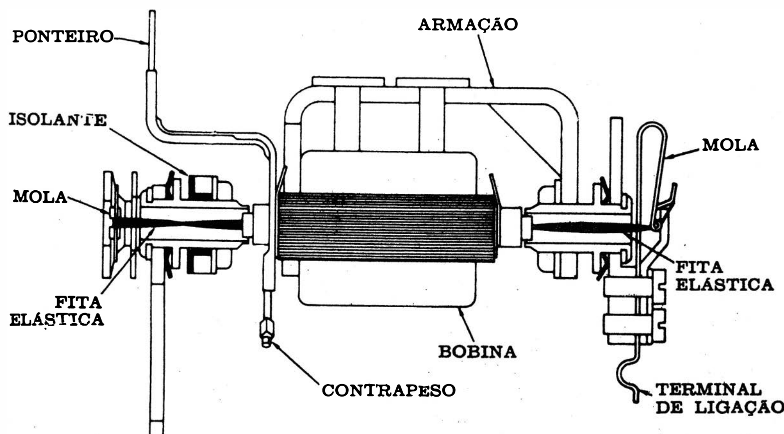


Fig. 1-14 — Medidor de bobina móvel, com suspensão por fita.

irídio, fortemente esticadas entre os suportes fixos. A primeira vantagem consiste na rigidez do novo sistema: os choques mecânicos são inteiramente absorvidos pelas fitas de suspensão. A segunda, e mais importante, consiste na eliminação, por completo, do atrito que era produzido pelos pivôs. Graças a este sistema, têm sido construídos medidores com sensibilidade tão alta quanto 100.000 e 200.000 ohms por volt, a um preço competitivo com os instrumentos mais antigos; existem mesmo instrumentos excepcionalmente sensíveis, com até 2 MΩ por volt.

O dinamômetro

O dinamômetro pode operar com correntes contínuas ou alternadas, e esta característica o torna muito útil em determinadas aplicações. A principal diferença entre o dinamômetro e o galvanômetro de d'Arsonval consiste na substituição do ímã permanente, por uma segunda bobina, fixa, que é também percorrida pela corrente que se deseja medir, funcionando como eletroímã. Na Fig. 1-15, vemos o par de bobinas fixas e a bobina móvel, que se movimenta dentro do campo criado pelas primeiras. Alguns instrumentos deste tipo são dotados de algum amortecimento, para evitar que o sistema móvel seja danificado por um deslocamento excessivamente rápido.

A desvantagem do dinamômetro consiste em sua sensibilidade reduzida; isto se deve ao campo magnético produzido pelas bobinas fixas, que é mais fraco do que o do ímã permanente. Entretanto, como dissemos, em algumas aplicações — como

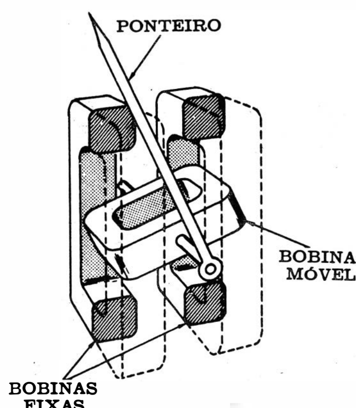


Fig. 1-15 — Dinamômetro.

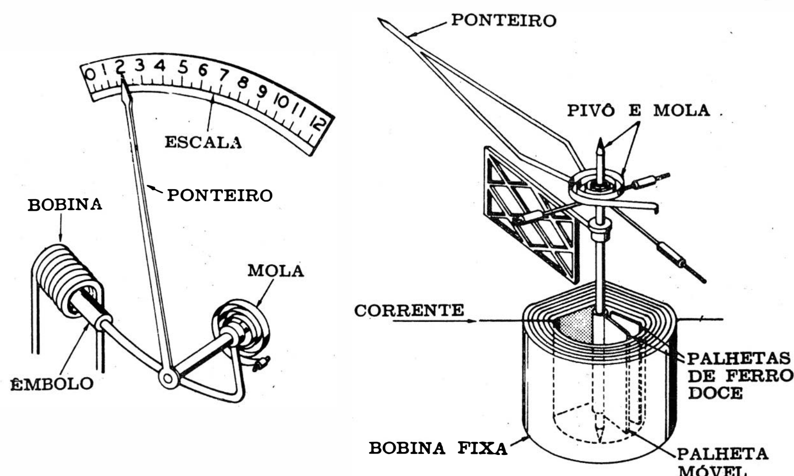
a medição de tensões ou correntes em freqüências industriais — o dinamômetro é insuperável.

Medidores de ferro móvel

Existem dois tipos de medidores de ferro móvel, ambos eletromagnéticos, sendo freqüentemente utilizados para medidas de pouca precisão em freqüências industriais. O galvanômetro de d'Arsonval, anteriormente estudado, é também chamado de *bobina móvel*, para distinguí-lo dos medidores de ferro móvel, já que todos são eletromagnéticos.

O tipo mostrado na Fig. 1-16A opera baseado na *atração* entre uma bobina fixa, pela qual passa a corrente a ser medida, e um êmbolo de ferro doce: de maneira análoga a um solenóide, o êmbolo é atraído para dentro da bobina pelo campo magnético criado pela corrente.

O segundo tipo é o ilustrado na Fig. 1-16B, que funciona baseado na *repulsão* entre duas palhetas de ferro doce, uma fixa e outra móvel, solidária ao ponteiro. As duas palhetas estão envolvidas pelo campo magnético criado pela bobina fixa e como estão aproximadamente no mesmo lugar, são imantadas de maneira idêntica, e em conseqüência se repelem



A) De atração. *B) De repulsão.*

Fig. 1-16 — Dois tipos de medidores de ferro móvel.

Os medidores deste tipo são relativamente baratos, mas a precisão que oferecem é pequena, principalmente em altas freqüências. O tipo de repulsão é mais utilizado do que o outro.

Medidor eletrostático

Como foi ventilado anteriormente, o medidor eletrostático não mede corrente, e sim tensão. A tensão a ser medida, seja ela contínua ou alternada, é aplicada entre as duas palhetas: uma é fixa e a outra móvel. Como cargas de polaridade oposta se atraem, a palheta móvel, à qual está fixado o ponteiro, se desloca em direção à palheta fixa. Embora este tipo de medidor não consuma corrente alguma do circuito, em freqüências mais altas a capacitância existente entre as palhetas pode constituir uma séria desvantagem.

Medidor térmico

Existem dois tipos de medidores térmicos: o de *fio quente* e o *termopar*. A Fig. 1-17A mostra o primeiro tipo: a corrente, passando pelo fio aquecedor, provoca seu alongamento, reduzindo assim a tensão mecânica sobre o fio ligado ao ponteiro. Devido à ação da mola ligada a este segundo fio, o ponteiro se deslocará sobre o mostrador, proporcionalmente à corrente.

O instrumento descrito é muito pouco usado, mas o *termopar*, graças à sua excelente resposta de freqüência (até 1 MHz ou mais) encontra larga aplicação em diversos campos. A Fig. 1-17B ilustra um medidor deste tipo. Aqui, o calor gerado pela corrente que passa pelo fio resistivo aquece a junção de dois metais diferentes que formam o *termopar;*

A) De fio quente. *B) Termopar.*

Fig. 1-17 — Medidores térmicos.

em seus terminais aparece, então, uma pequena tensão, que é proporcional ao quadrado da corrente no resistor. Esta tensão é ligada a um medidor convencional, do tipo d'Arsonval, que tem sua escala graduada diretamente em ampères.

A maior desvantagem deste instrumento consiste na lentidão da resposta: como o ponteiro não mostra imediatamente um acréscimo repentino da corrente, o instrumento pode ser facilmente danificado por uma sobrecarga, antes que o operador possa desligar o circuito.

Sensibilidade do medidor

A sensibilidade de um medidor é indicada em *ohms por volt.* Nada mais é do que uma indicação relativa à corrente de plena escala: mais precisamente, a sensibilidade de um medidor vem a ser o inverso da corrente de plena escala:

$$S = \frac{1}{I_{pe}}$$

onde

S é a sensibilidade, em ohms por volt, e
I_{pe} é a corrente necessária para deflexão a plena escala.

Desta forma, um medidor de 1 mA (PE) tem uma sensibilidade de

$$S = \frac{1}{0{,}001} = 1.000 \text{ ohms por volt.}$$

Com um cálculo semelhante, concluiremos que um medidor de 50 μA apresenta uma sensibilidade de 20.000 ohms por volt.

A sensibilidade de um voltímetro é, evidentemente, igual à sensibilidade do medidor com que o instrumento está equipado; o aspecto prático desta informação está na possibilidade de sabermos qual será o *efeito de carga* do voltímetro sobre o circuito que está sendo analisado. Assim, um voltímetro de 1.000 ohms por volt, quando comutado para o alcance de 15 volts, terá uma resistência de 15 × 1.000 = 15.000 ohms. Tudo se passará, quando o voltímetro for conectado ao cir-

cuito que está sendo provado, como se tivéssemos um resistor com este valor ligado entre os dois pontos. É claro que a inclusão deste resistor, representado pelo voltímetro, altera o circuito original; seria, portanto, desejável que a resistência do voltímetro fosse a mais alta possível, para que a alteração introduzida não fosse muito grande. Mas, para obtermos uma resistência maior, necessitamos de um medidor mais sensível, e isto significa que o instrumento custará mais caro.

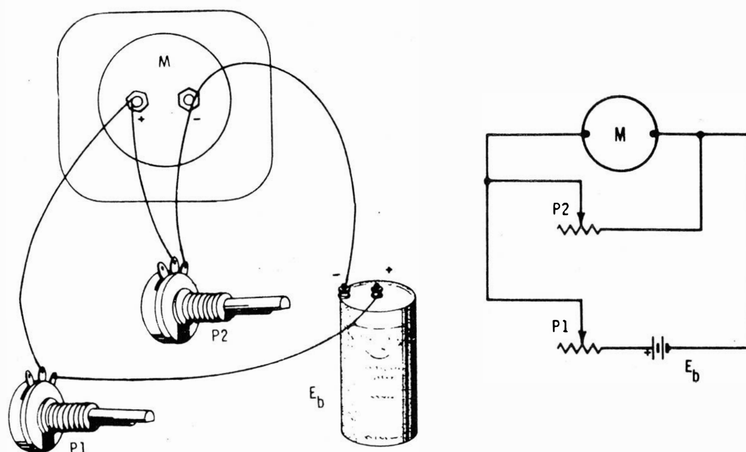
A grande vantagem da especificação da sensibilidade do instrumento, em lugar de estabelecer simplesmente qual a resistência que o mesmo apresenta em cada faixa, consiste no fato de que a sensibilidade é a mesma, seja qual for o alcance, e a resistência varia com este.

A sensibilidade, como a definimos, só tem significado quando aplicada a um instrumento que não utilize quaisquer elementos ativos, tais como válvulas ou transistores; desta forma, não há sentido em falarmos na "sensibilidade" de um voltímetro eletrônico. Para estes, costuma-se indicar a ***resistência de entrada,*** que, ao contrário dos instrumentos já estudados, permanece constante qualquer que seja o alcance. O valor típico para a resistência de entrada dos voltímetros eletrônicos que utilizam válvulas é de 11 MΩ.

Resistência interna do medidor

Se conhecermos a corrente de plena escala de um medidor (ou a sua sensibilidade, a partir da qual I_{pe} é facilmente determinada), podemos calcular a sua resistência interna, segundo o método ilustrado na Fig. 1-18. O potenciômetro P1 deve ter um valor suficientemente grande para limitar a corrente no medidor a um valor inferior ao de plena escala; na maioria dos casos, 100 kΩ é uma escolha razoável. O potenciômetro P2 deve ter aproximadamente 10 kΩ. Ao montar o circuito, deve-se tomar cuidado para que o cursor de P1 esteja, inicialmente, na posição tal que o máximo de resistência fique incluída no circuito. Deixando P2 temporariamente de fora, interligamos P1, o medidor e a bateria (de modo a conectar o terminal negativo da bateria com o terminal correspondente do medidor) e ajustamos o cursor de P1 para que o instrumento indique exatamente a deflexão de plena escala.

Agora, acrescentamos P2 ao circuito, em paralelo com o medidor: a seguir, ajustamos seu cursor de maneira a trazer o ponteiro até a indicação de *meia escala*. Bastará, então, desligar P2 e, sem tocar em seu eixo, medir a resistência entre



A) Circuito real. *B) Diagrama esquemático.*

Fig. 1-18 — Determinação da resistência interna de um medidor.

os terminais (o do centro e um dos das extremidades) que estavam ligados ao medidor: este será o valor da resistência interna do medidor.

Tendo-se em vista a fragilidade dos medidores, é necessário tomar muito cuidado ao efetuar a medida, pois o instrumento poderá sofrer danos irreparáveis se a polaridade da bateria for invertida ou se a resistência de P1 for muito pequena.

QUESTIONARIO

1- 1 — Enumere as grandezas que podem ser medidas com instrumentos eletrônicos.

1- 2 — Estabeleça a diferença entre um V.O.M. e um V.E. no que diz respeito à fonte de alimentação utilizada.

1- 3 — Que acontece com a corrente em um circuito em que a tensão é mantida constante e a resistência em série é aumentada?

1- 4 — Em que sentido varia a corrente total em um circuito cuja tensão é mantida constante, se forem acrescentados mais resistores em paralelo com o resistor original?

1- 5 — Descreva o processo de ligação de um amperímetro num circuito, para medir a corrente ali existente.
1- 6 — Para medir a tensão entre dois pontos, como deve ser ligado um voltímetro?
1- 7 — Qual é a relação entre a corrente total em um circuito-série e as correntes nas diversas partes do circuito?
1- 8 — Idem à anterior, em um circuito paralelo.
1- 9 — Qual a fórmula da lei de Ohm?
1-10 — Dê as três fórmulas que permitem determinar a potência, sendo conhecidas duas entre as três quantidades: E, I ou R.
1-11 — Calcule a potência dissipada por um resistor, sendo a tensão aplicada de 50 volts e a corrente resultante 3 ampères.
1-12 — Calcule a potência dissipada por um resistor de 500 ohms, pelo qual passa uma corrente de 1 ampère.
1-13 — Calcule a potência dissipada, se tivermos 80 volts aplicados a um resistor de 8 ohms.
1-14 — Cite três categorias de medidores estudados neste capítulo.
1-15 — Como é chamado o medidor que tem um ímã permanente e uma bobina móvel, por onde passa a corrente a ser medida?
1-16 — A qual das categorias citadas na pergunta 1-14 pertence este tipo?
1-17 — Quais os tipos de medidores que podem medir tanto corrente alternada como corrente contínua?
1-18 — Qual é o medidor que mede tensão, e não corrente?
1-19 — Qual é a classificação genérica do medidor de fio quente e do termopar?
1-20 — Cite uma vantagem e uma desvantagem do termopar, em comparação com o medidor de fio quente.
1-21 — Qual seria mais caro: um instrumento com 20.000 ohms por volt ou um com 1.000 ohms por volt?
1-22 — Descreva suscintamente o processo para ampliar o alcance de um amperímetro.
1-23 — Faça o mesmo, para o alcance de um voltímetro.
1-24 — Qual a fórmula para se calcular a sensibilidade de um medidor, sendo conhecida a corrente de plena escala?

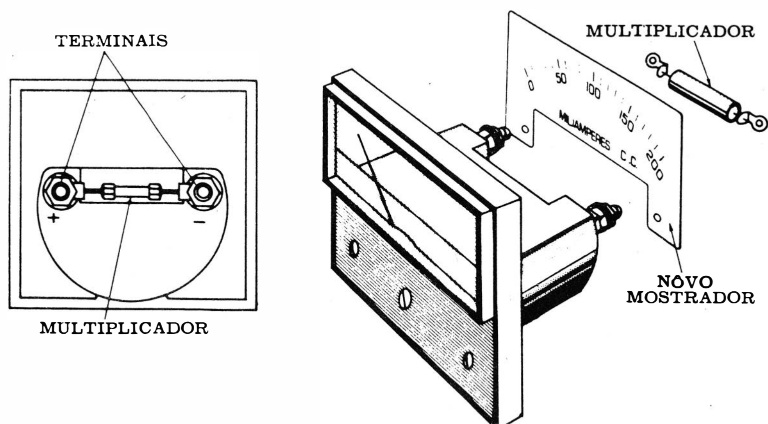


2 instrumentos múltiplos

AMPLIANDO O ALCANCE DO AMPERÍMETRO

Um instrumento originalmente construido para dar a deflexão de plena escala quando sua bobina for percorrida por um determinado valor de corrente pode ser facilmente adaptado para medir valores mais elevados de corrente, mediante a ligação, *em paralelo* com a bobina, de resistores de pequeno valor, chamados de *multiplicadores de escala* ou *derivadores*. Se for suficiente dotar o medidor de apenas uma escala para medição de correntes elevadas, o multiplicador pode ser ligado aos terminais da bobina de forma semipermanente, como se vê na Fig. 2-1A. Como exemplo destas aplicações, temos alguns instrumentos de laboratório, indicadores de corrente de placa em transmissores, amperímetros para baterias, etc. Normalmente, o fabricante do instrumento fornece, a pedido, qualquer multiplicador que se necessite. Além disto, a construção caseira de tais acessórios nada tem de difícil. Em alguns casos, o fabricante fornece, juntamente com o multiplicador desejado, um novo mostrador para substituir o original, já calibrado para a nova faixa, como se pode ver na Fig. 2-1B.

Estes derivadores, em instrumentos múltiplos, são ligados ao medidor por meio de uma chave comutadora, a chave "ALCANCE" ou "FAIXA" — CH1 nas Figs. 2-2B e C. Para



A) Vista posterior. *B) Mostrador removível.*

Fig. 2-1 — Adaptação semi-permanente de um multiplicador ao miliamperímetro.

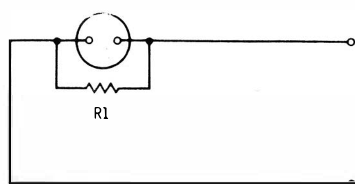
cada faixa, é utilizada uma nova escala; às vezes, entretanto, a escala permanece a mesma, sendo sua indicação multiplicada por um valor conveniente.

Cálculo dos multiplicadores

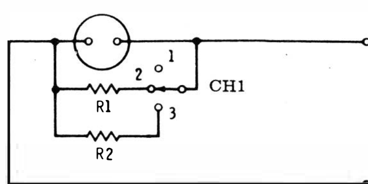
Se for conhecida a resistência interna do medidor (se ela não for especificada pelo fabricante, pode ser facilmente determinada pelo método exposto no capítulo anterior), podemos calcular o valor da resistência do multiplicador para qualquer alcance desejado.

Vejamos um exemplo: se o medidor apresenta deflexão a plena escala com 1 mA, e necessitamos aumentar este alcance para 100 mA, basta fazer com que os 99 mA em excesso passem através de R1 (Fig. 2-2A), fazendo seu valor igual a 1/99 da resistência da bobina móvel. Se esta tiver 100 ohms, R1 deverá ter 100/99, ou seja, 1,01 ohm. Se o alcance desejado fosse de 1 A, teríamos de tornar R1 igual a 100/999, ou seja, 0,1001 ohm; teríamos, assim, 1 mA passando pelo medidor e 999 mA por R1.

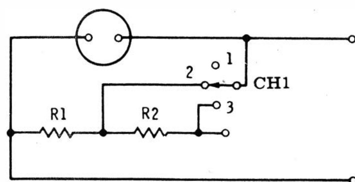
Quando se deseja mais de uma faixa no mesmo instrumento, os diversos multiplicadores são ligados a uma chave, usada para selecionar o alcance desejado no momento, como mostra a Fig. 2-2B. Na posição 1 da chave CH1, nenhum multiplicador é ligado ao medidor, que fica em condições de in-



A) Circuito básico.



B) Circuito com uma chave seletora.



C) Ligação em anel.

Fig. 2-2 — Métodos de ligação dos multiplicadores.

dicar correntes até o seu valor de plena escala; na posição 2, R1 é ligado em paralelo com a bobina, e na posição 3 o multiplicador usado é R2. A ligação da chave pode ser feita também de outras maneiras — como, por exemplo, *em anel,* como se vê na Fig. 2-2C: na posição 2 da chave, o multiplicador será apenas R1, ao passo que, na posição 3, será constituído por R1 e R2 em série.

O valor do multiplicador será determinado pela fórmula

$$R_m = \frac{R_i \ I_{pe}}{I_m}$$

onde

R_m — resistência do multiplicador, em ohms;
R_i — resistência interna do medidor, em ohms;
I_{pe} — corrente de plena escala do medidor, em ampères;
I_m — excesso de corrente, em ampères, que será desviado pelo multiplicador.

Se, por exemplo, deseja-se aumentar o alcance de um medidor de 1 mA (a plena escala) para 10 mA, teremos $I_m = 10 - 1 = 9$ mA.

Para ilustrar o emprego da fórmula, suponhamos que o instrumento acima referido (1 mA a plena escala) deva ter

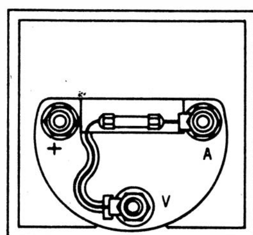
seu alcance aumentado para 100 mA. Sua resistência interna é de 50 ohms. Assim,

$$R_m = \frac{50 \times 0{,}001}{0{,}099} = 0{,}505 \text{ ohm}$$

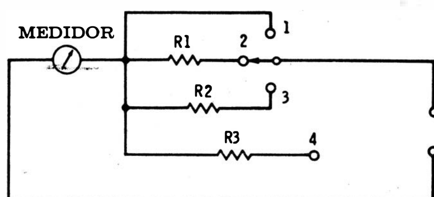
AMPLIANDO O ALCANCE DO VOLTÍMETRO

O alcance das faixas de tensão de um medidor também pode ser ampliado. Suponhamos que um medidor apresente deflexão a plena escala quando a corrente na bobina móvel for de 10 mA, sendo de 100 ohms sua resistência interna; isto significa que uma tensão de 100 × 0,01 = 1 volt, quando aplicada a seus terminais, levará o ponteiro ao fim da escala, ou seja, temos um medidor que, sozinho, só é capaz de medir até 1 volt. Pela adição de um multiplicador de escala, *em série* com a bobina, é possível adaptá-lo para a medição de tensões mais elevadas, como mostra a Fig. 2-3A.

Como no caso anterior, é possível também utilizar diversos multiplicadores, selecionáveis por meio de uma chave comutadora (Fig. 2-3B). Com a chave na posição 1, o medidor pode indicar até 1 volt; com a chave na posição 2, o alcance é estendido para 10 volts, supondo que R1 tem um valor 9 vezes maior do que a resistência interna do medidor (900 ohms, no caso). Assim, a resistência total do circuito de medição será de 900 + 100 = 1.000 ohms, o que permitirá a passagem de uma corrente igual a 10/1.000 = 10 mA, precisamente a corrente necessária para a deflexão total do ponteiro. De maneira análoga, na posição 3 da chave, se R2 tiver um



A) Ligação semi-permanente.



B) Circuito com chave seletora.

Fig. 2-3 — O multiplicador em série aumenta o alcance do voltímetro.

valor 99 vezes maior do que R_i, o alcance será de 100 volts. Na posição 4 o alcance será de 1.000 volts, desde que R3 seja 999 vezes maior do que R_i.

Cálculo dos multiplicadores

O valor do multiplicador exigido para aumentar o alcance de um voltímetro pode ser calculado pela fórmula

$$R_m = \frac{E_{pe}}{I_{pe}} - R_i$$

onde

R_m — é o valor do resistor multiplicador, em ohms;
E_{pe} — é a tensão desejada para deflexão a plena escala, em volts;
I_{pe} — é a corrente para deflexão a plena escala, em ampères;
R_i — é a resistência interna do medidor.

Se, por exemplo, um medidor de 10 mA (a plena escala) apresenta uma resistência interna de 500 ohms, e desejamos utilizá-lo para medir tensões até 5.000 volts, o multiplicador adequado terá

$$R_m = \frac{5.000}{0{,}01} - 500 = 500.000 - 500 = 499.500 \text{ ohms}$$

Deve-se observar que, em um projeto real, seria utilizado um resistor de 500 kΩ para R_m, porque o erro cometido seria desprezível (1%).

MEDIDA DE RESISTÊNCIAS

A Fig. 2-4 ilustra o circuito mais simples possível para um medidor de resistências, ou *ohmímetro*. R1 é um resistor de calibração, e as chaves CH1 e CH2 estão ambas ou na posição 1 ou na posição 2.

Quando as chaves estiverem na posição 1, o resistor de calibração fechará o circuito constituído pela bateria e pelo

medidor. Admitamos que o valor de R1 seja tal que o ponteiro deflexione exatamente até o fim da escala: se as chaves forem movidas para a posição 2, e se o resistor desconhecido tiver um valor superior ao de R1, a deflexão do ponteiro será agora menor. O valor da corrente será inversamente proporcional ao valor do resistor desconhecido.

Se a escala do instrumento for marcada diretamente com os valores de resistência, poderemos utilizar este circuito para medir resistências maiores do que R1.

A utilidade prática do circuito da Fig. 2-4 é um pouco reduzida, porque a calibração é feita para a corrente máxima do medidor: devido a este fato, resistências menores do que a do resistor de calibração acarretariam uma leitura fora da

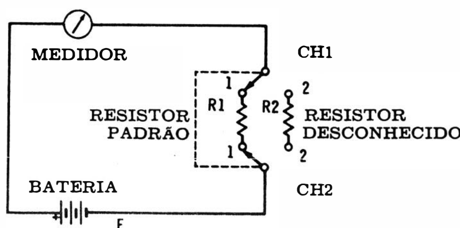


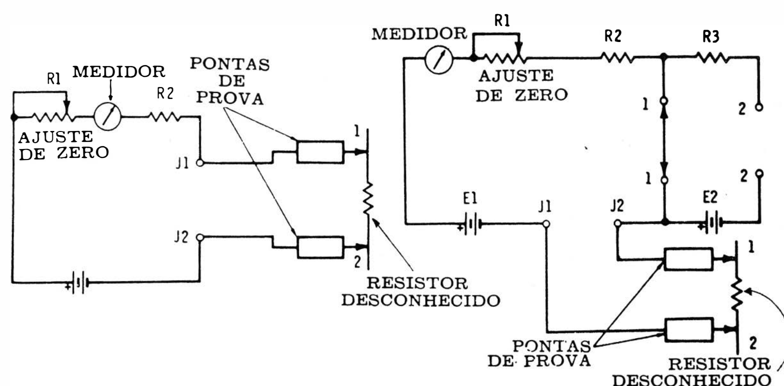
Fig. 2-4 — Um ohmímetro elementar.

escala, ou seja, permitiriam a passagem de uma corrente superior à máxima necessária para a deflexão total do ponteiro. Percebe-se facilmente que, se o resistor desconhecido for suficientemente baixo, o medidor será danificado pelo excesso de corrente. Por outro lado, valores de resistência muito maiores do que R1 não permitiriam uma leitura precisa, porque o ponteiro permaneceria próximo ao zero da escala.

Circuito prático de um ohmímetro

O circuito prático mostrado na Fig. 2-5 é freqüentemente utilizado em instrumentos comerciais. O circuito da Fig. 2-5A difere do da Fig. 2-4 pela permanência do resistor de calibração no circuito, durante a medição, limitando desta forma a corrente pelo medidor e impedindo-o de danificar-se com valores baixos da resistência a ser medida.

O funcionamento do circuito é o seguinte: primeiro, os pontos 1 e 2 das pontas de prova são curto-circuitados, interligando o terminal negativo da bateria interna do instrumento com o resistor R2. A corrente fornecida pela bateria



A) Circuito básico em série. *B) Aumentando o alcance.*

Fig. 2-5 — Circuito utilizado nos instrumentos comerciais.

passa, então, pelo circuito-série constituído por R2, o medidor e o resistor de AJUSTE DE ZERO, R1. A tensão da bateria e o resistor de calibração, R2, são escolhidos de tal forma que a corrente no circuito seja suficiente para levar o ponteiro aproximadamente até o fundo da escala. O ajuste do cursor de R1 permitirá, então, que o ponteiro indique exatamente a leitura de plena escala; a seguir, as pontas de prova são separadas e ligadas aos terminais do resistor desconhecido.

Se, por exemplo, o resistor que está sendo medido tiver uma resistência nula (zero ohm), então o ponteiro voltará a defletir até o fim da escala, pois as pontas de prova estarão ainda em curto-circuito; para qualquer valor de resistência acima de zero, a corrente pelo instrumento será menor do que a de plena escala. Se o valor do resistor desconhecido for exatamente igual à soma de R1 e R2, o ponteiro defletirá até o centro da escala: a Fig. 2-6 ilustra o caso em que $R1 + R2 = 5$ ohms. A escala é calibrada pela marcação, em diversos pontos, dos valores correspondentes de resistência.

A desvantagem do circuito da Fig. 2-5A consiste na impossibilidade de medir valores altos de resistência: este fato pode ser ilustrado pela medida de um resistor vinte vezes maior do que $R1 + R2$. Neste caso, a deflexão do ponteiro será apenas de um vigésimo da total, o que significa um deslocamento muito pequeno para que possa ser lido com alguma

precisão. Quanto maior for a resistência desconhecida, maior será também a dificuldade de leitura da indicação do ponteiro.

Ampliando as faixas de resistência

Para que se possa ler com precisão valores mais elevados de resistência, é necessário aumentar tanto a tensão da bateria quanto o valor do resistor de calibração. O circuito mostrado na Fig. 2-5B ilustra a adição de outra escala ao instrumento da esquerda: com a chave na posição 1, o circuito é o mesmo da Fig. 2-5A; a bateria B2 e o resistor R3 não estão ligados ao circuito, podendo ser ignorados. Suponhamos que, depois de ter ajustado R1 (com as pontas de prova em curto-circuito), tentamos medir uma resistência qualquer. Se o valor desta for muito elevado, o ponteiro terá um deslocamento muito pequeno, o que nos impedirá de conhecer com precisão o valor procurado. Movendo a chave para a posição 2, entretanto, acrescentamos em série com o circuito a bateria B2 e o resistor R3, permitindo que a deflexão seja agora significativamente maior: se, por exemplo, o resistor desconhecido tiver um valor igual à soma de R1, R2 e R3, o ponteiro defletirá até o centro da escala.

Para obter faixas com alcance ainda maior, basta acrescentar mais posições à chave seletora, bem como adicionar

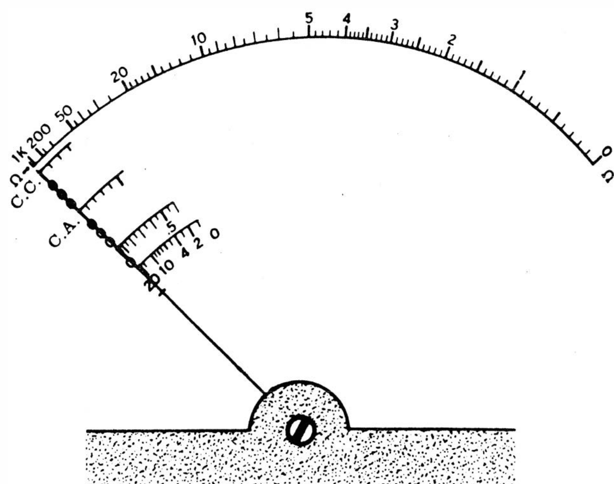


Fig. 2-6 — Graduação da escala do ohmímetro.

baterias e resistores de calibração suplementares. Os instrumentos comerciais têm, normalmente, de três a cinco faixas para a medida de resistência.

Medida de resistências baixas

O circuito que acabamos de considerar não tem precisão suficiente quando se trata de medir resistências de valor muito baixo. Se a resistência desconhecida for muito pequena em comparação com a soma de R1 e R2, a deflexão do ponteiro ficará tão próxima do fim da escala que será impossível distinguir o valor do resistor. Vejamos um exemplo: R1 + R2 nos dão 1.500 ohms, e a bateria tem 1,5 volt. Com isto, a corrente pelo circuito, com as pontas de prova curto-circuitadas, será de 1 mA. Se, agora, tentarmos medir um resistor de 15 ohms, a deflexão do ponteiro corresponderá a 0,99 mA, ou seja, apenas 1% de diferença da posição correspondente a 1 mA.

O circuito básico utilizado para a medição de valores baixos de resistência está ilustrado na Fig. 2-7. Este tipo de ohmímetro é chamado de *paralelo,* ao passo que o tipo anteriormente apresentado é chamado de *ohmímetro série.* Observe que, quando as pontas de prova estiverem afastadas uma da outra, a corrente pelo circuito será máxima: R2 é, então, ajustado para que o ponteiro fique exatamente sobre o fim da escala, na posição correspondente a resistência infinita. Quando as pontas de prova forem curto-circuitadas, não haverá corrente pelo medidor; assim, o ponteiro na posição de repouso corresponderá a resistência zero. A resistência interna do próprio medidor é o principal fator determinante do

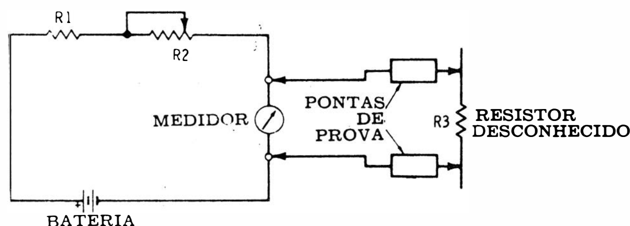


Fig. 2-7 — Ohmímetro paralelo.

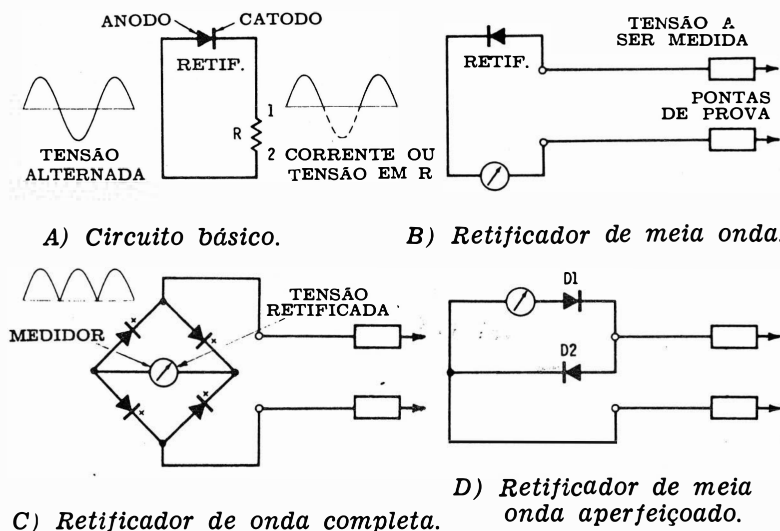
menor valor de resistência que se pode medir: se, por exemplo, o instrumento tiver uma bobina móvel com 100 ohms, a leitura de meia escala corresponderá também a uma resis-

tência de 100 ohms. Uma resistência desconhecida de 10 ohms resultará numa deflexão do ponteiro aproximadamente igual a 10%.

MEDIÇÃO DE TENSÕES ALTERNADAS

Os instrumentos de bobina móvel do tipo d'Arsonval não podem ser utilizados para a medida de tensões alternadas, a menos que estas sejam primeiramente *retificadas*. Evidentemente, esta retificação — ou transformação de C.A. em C.C. — só deve ocorrer no circuito do medidor, permanecendo a tensão no circuito externo em sua forma original.

A Fig. 2-8A ilustra um circuito retificador muito simples. O retificador, também chamado de *diodo,* possui dois elementos, que são o anodo e o catodo. Sua característica importante consiste em só permitir a passagem de corrente em uma direção, do catodo para o anodo (estamos considerando aqui o sentido *eletrônico* da corrente elétrica, que se dirige *do pólo negativo para o positivo*). A corrente que passa pelo diodo no sentido inverso é tão pequena que pode ser desprezada. Assim, se aplicarmos uma tensão alternada a um circuito retificador, como se vê na Fig. 2-8A, a corrente no diodo — e, conseqüentemente, no resistor R, pois os dois estão em



A) Circuito básico. *B) Retificador de meia onda.*

C) Retificador de onda completa. *D) Retificador de meia onda aperfeiçoado.*

Fig. 2-8 — Retificadores para instrumentos.

série — será a representada pelo semiciclo em linha cheia, na curva traçada à direita do resistor R. Durante o semiciclo representado em linha interrompida, a corrente não poderá circular, porque a tensão alternada (representada à esquerda do diagrama) terá uma polaridade tal que o diodo não permite a passagem da corrente.

A tensão retificada em meia onda, tal como é mostrada na Fig. 2-8A, é chamada de tensão *pulsativa*. Seu valor médio será proporcional à tensão de entrada, e, devido a isto, a escala do instrumento pode ser calibrada de forma a permitir a leitura direta da tensão alternada de entrada, muito embora a C.A. não passe integralmente pelo circuito do medidor. A Fig. 2-8B ilustra um circuito empregado para a medição de tensões alternadas.

As Figs. 2-8C e 2-8D ilustram dois outros tipos de retificadores utilizados em instrumentos de medida. O da Fig. 2-8C é conhecido como retificador *em ponte,* permitindo a retificação de *onda completa* da tensão C.A. A forma de onda representada corresponde à corrente que passa pelo medidor. O circuito da Fig. 2-8D, embora sendo também de *meia onda,* como o da Fig. 2-8B, apresenta um aperfeiçoamento: o diodo D2, ligado em paralelo com o medidor e o diodo D1, impede que mesmo uma diminuta corrente de fuga possa passar pelo medidor, falseando a leitura. Estes dois últimos circuitos são os mais empregados em instrumentos comerciais.

A maioria dos multímetros apresenta possibilidade de medir *tensões alternadas,* mas não correntes. Isto se deve ao fato de ser a resistência interna do retificador muito alta, em comparação com a resistência dos circuitos onde se necessitaria medir as correntes alternadas, o que tornaria impraticável a medida. Felizmente, quase nunca é necessário medir uma corrente alternada — e, quando preciso, normalmente é fácil medir a *tensão* sobre um resistor qualquer que seja percorrido pela corrente e, com o auxílio da lei de Ohm, calcular o seu valor indiretamente. Nos raros casos em que seja indispensável medir diretamente a corrente alternada, será necessário utilizar outros tipos de medidores que não o de bobina móvel.

Precisão do instrumento

A precisão com que um instrumento pode indicar a tensão ou corrente a ele aplicada é dada, normalmente, em *porcentagem de plena escala.* Se a precisão for de 3%, isto

significa que, na escala de 150 volts por exemplo, qualquer leitura terá uma tolerância de mais ou menos $150 \times 3/100 = 4{,}5$ volts. Quando o instrumento é usado como ohmímetro, não faz sentido definir a precisão da leitura, porque esta varia de ponto para ponto da escala. Valores típicos para a precisão de instrumentos comerciais se situam entre 1% (instrumentos de laboratório) e 5% ou mais.

MULTÍMETROS, VOLTÍMETROS A VÁLVULA E VOLTÍMETROS TRANSISTORIZADOS

Os instrumentos que medem tensão, corrente, resistência, potência, etc. podem ser do tipo capaz de desempenhar uma única função, ou então do tipo múltiplo, capaz de medir duas ou mais destas grandezas. A Fig. 2-9 ilustra um instrumento simples, de laboratório, dotado de dois terminais de ligação na parte inferior para a conexão à bobina móvel. A escala está graduada de 0 a 10 volts.

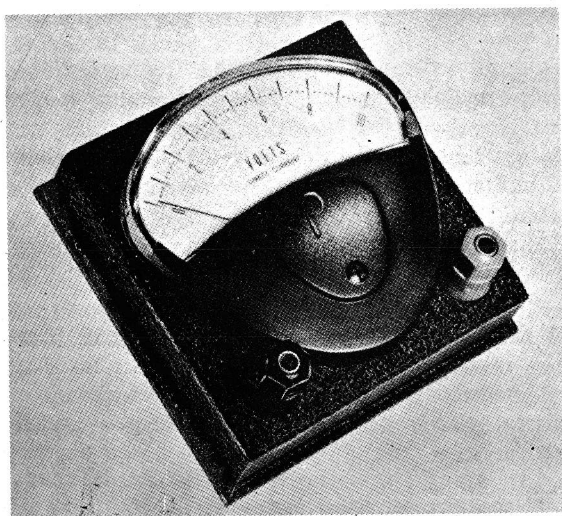


Fig. 2-9 — Um instrumento com uma única função (voltímetro).

O instrumento mostrado na Fig. 2-10, por outro lado, é um multímetro, o que significa que ele pode medir várias grandezas diferentes. Este modelo, em particular, é um V.O.M., e pode ser usado para a medição de tensões contínuas e alter-

nadas, correntes contínuas e resistências. Para cada função existem diversas faixas, com alcances diferentes. A comutação destas faixas, bem como das diferentes funções, é feita por intermédio dos dois botões visíveis na parte inferior da caixa

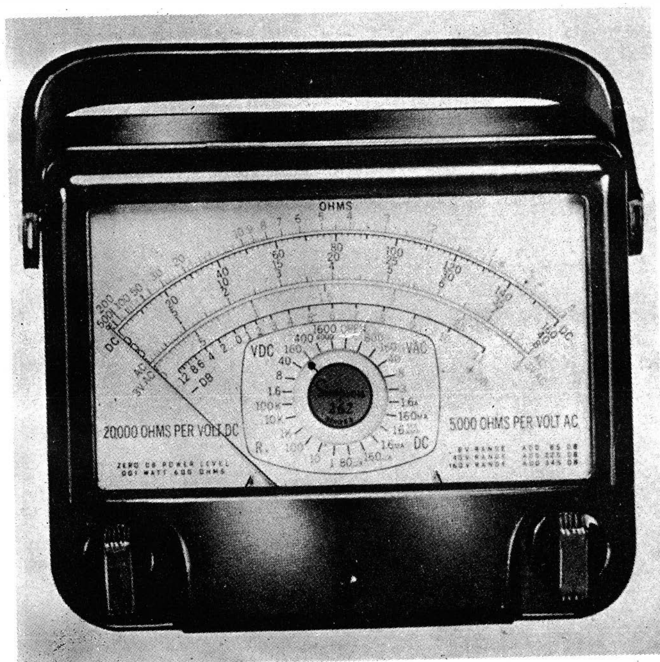


Fig. 2-10 — Exemplo de instrumento múltiplo.

A Fig. 2-11 apresenta outro tipo de instrumento múltiplo. Trata-se de um voltímetro eletrônico a válvula (V.A.V.), que é também conhecido por suas iniciais em língua inglesa, VTVM (de Vacuum Tube Volt Meter). Na fotografia, pode-se perceber, ligada ao V.A.V., uma ponta de prova com a respectiva garra jacaré, para a ligação de massa. Este instrumento mede tensões alternadas e contínuas, em diversas faixas, bem como resistências. A ponta de prova contém, em seu interior, um resistor, uma chave comutadora e um retificador. Para medir tensões contínuas, o resistor é ligado em série com a ponta de prova, evitando que a ligação do V.A.V. perturbe o funcionamento do circuito. O valor usual do resistor é de 1 MΩ.

A resistência de entrada deste instrumento, para a medida de tensões contínuas, é de 11 MΩ. Esta elevada resistência de entrada facilita extraordinariamente as medidas em circuitos de alta resistência, já que, nesse caso, o circuito do medidor não "carrega" o circuito sob medida, proporcionando leituras confiáveis. Para a medida de tensões alternadas, a resistência de entrada do instrumento é de 1 MΩ.

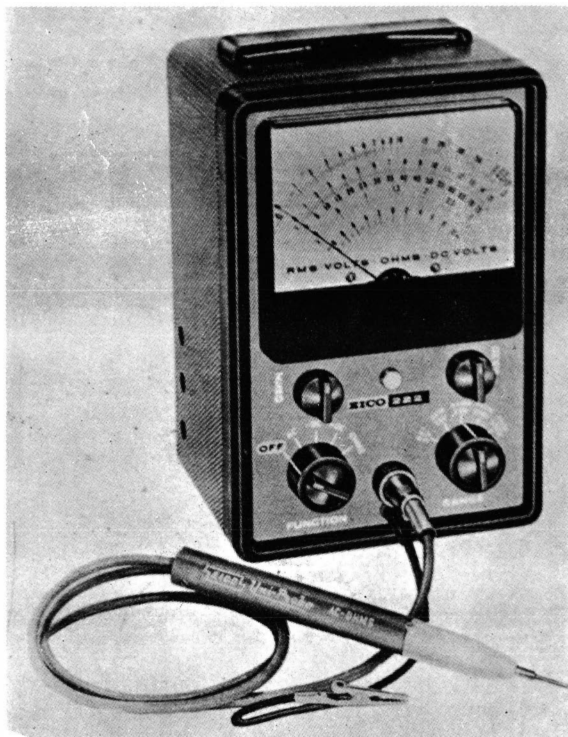


Fig. 2-11 — Um voltímetro a válvula típico.

A Fig. 2-12 apresenta a versão transistorizada do voltímetro eletrônico, o V.T. A única diferença reside no fato de terem sido as válvulas substituídas por transistores, geralmente do tipo T.E.C., que são os transistores de efeito de campo, com a conseqüente possibilidade de ser alimentado por pilhas secas. Depois do desenvolvimento do T.E.C., o vol-

tímetro transistorizado praticamente substituiu o voltímetro a válvula, não só porque a impedância de entrada do T.E.C. é altíssima, como também porque ele opera eficientemente em freqüências muito elevadas.

O outro aspecto envolvido é a maior portabilidade do voltímetro transistorizado: normalmente, o V.A.V. é alimentado pela rede, enquanto o V.T. é alimentado por pilhas secas.

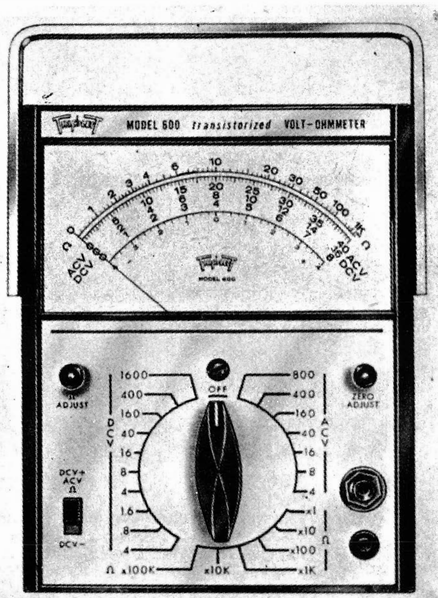


Fig. 2-12 — Este multímetro portátil de estado sólido é alimentado a baterias.

A função desempenhada pela válvula e pelo transistor, nos dois casos, é a mesma: consiste em *amplificar* a tensão a ser medida, além de *isolar* o medidor do circuito sob prova.

Caracteristicas de um V.O.M. tipico

Para compreender o funcionamento de um V.O.M., vejamos as características de um instrumento típico, como o apresentado na Fig. 2-13. Este modelo é de uso muito difundido pelas oficinas de reparação e laboratórios de eletrônica do mundo inteiro.

As duas ligações entre o instrumento e o circuito a ser analisado são feitas por meio de dois fios revestidos de borracha flexível, um de cor preta e o outro de cor vermelha. Em uma das pontas, os fios têm um pino banana que encaixa no jaque existente no painel do instrumento; na outra extremidade ficam as pontas de prova, por meio das quais será feita a ligação com os pontos onde se deseja medir.

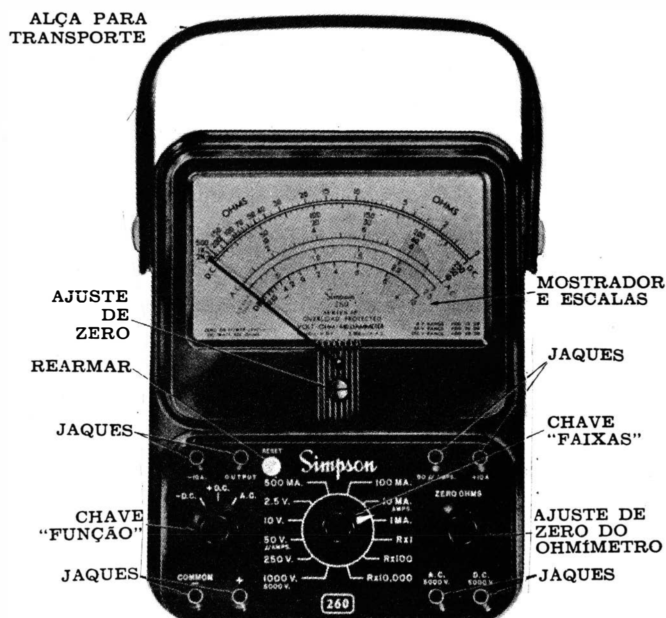


Fig. 2-13 — Multímetro SIMPSON modelo 260, descrito no texto.

Ao longo da parte inferior do painel, podemos ver quatro jaques: estes são os mais freqüentemente usados. Uma das pontas de prova, a de cor preta, fica permanentemente ligada ao jaque "COMUM", ou "COMMON". A ponta de prova de cor vermelha deve ser ligada ao jaque assinalado com "+" para qualquer uma das seguintes medidas:

— de resistência (em qualquer faixa)
— de tensão *alternada* ou *contínua* (até 1.000 volts)
— de corrente contínua (até 500 mA).

Utilização do multímetro

Para medir tensões contínuas entre 1.000 V e 5.000 V, o fio da ponta de prova vermelha deve ser ligado ao jaque assinalado com "D-C 5.000 V"; de maneira análoga, para tensões alternadas entre os valores acima, a ponta de prova vermelha deve ser ligada ao jaque "A-C 5.000 V".

Para efetuar a medição de correntes contínuas entre 500 mA e 10 A, a ponta de prova vermelha deve ser ligada ao jaque "− 10 A" ou "+ 10 A". Evidentemente, a escolha de um ou outro dos terminais dependerá da polaridade da corrente a ser medida. Em qualquer dos casos, a ponta de prova de cor preta permanecerá ligada ao terminal comum.

Os jaques "+ 10 A" e "− 10 A" estão situados logo abaixo da linha central do instrumento, próximos ao mostrador do medidor. O segundo jaque a contar da esquerda, marcado "OUTPUT" ("SAÍDA"), é utilizado para a medição de tensões alternadas *sobrepostas* a uma tensão contínua. Um capacitor de isolamento, dentro do próprio instrumento, serve para bloquear a componente contínua, permitindo a passagem apenas da componente alternada. Normalmente, este jaque — com o instrumento comutado para uma das faixas de tensão alternada — é utilizado para a medida *relativa* de níveis de potência de áudio. Por isso, a escala utilizada não é a mesma das tensões alternadas — e sim a escala de *dB*, que está gravada em vermelho na parte inferior do mostrador. A referência utilizada para o nível "0 dB" foi a de 1 mW, como é usual; a impedância considerada foi a de 600 ohms, o que significa que, quando as medidas forem feitas sobre um circuito que tenha esta impedância, valem as indicações impressas na escala; para qualquer outra impedância, as indicações terão valor apenas relativo, sendo necessário multiplicá-las por um fator de correção adequado. Como pode ser facilmente verificado, a tensão correspondente ao nível "0 dB" é igual a

$$E = \sqrt{RP} = \sqrt{600 \times 0{,}001} = 0{,}7746 \text{ volts}$$

Eventualmente, outros padrões de referência para o nível "0 dB" são utilizados, mas sua aplicação é restrita a alguns campos especializados dentro das telecomunicações, tais como a Acústica, a Telefonia, etc.

Temos, a seguir, o jaque assinalado com "50 μAMP". Sua finalidade, é evidente, consiste em permitir a leitura de cor-

rentes muito pequenas, até 50 microampères, pois a próxima faixa para a medição de correntes tem o alcance de 1 mA, ou seja, vinte vezes maior.

Estudemos agora as chaves seletoras de função e de faixas. A primeira está localizada no canto inferior esquerdo do painel; trata-se de uma chave rotativa, que pode ser colocada em uma das três posições correspondentes a "– DC", "+ DC" e "AC". Na posição "AC", esta chave permite que o instrumento meça *tensões* alternadas (este multímetro, como a maioria dos demais, não permite a medida de *correntes* alternadas). Para a utilização do instrumento com tensões ou correntes contínuas, a chave deve ser colocada em "+ DC", se a ponta de prova vermelha for ligada a um potencial positivo em relação ao ponto a que está ligada a ponta de prova preta, ou "– DC", em caso contrário.

Se, apesar disto, o ponteiro tentar deslocar-se em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, isto será indicação segura de que a polaridade da tensão ou corrente que está sendo medida é contrária à que era esperada. Bastará, para corrigir esta situação, passar a chave "FUNÇÃO" para a outra posição (por exemplo, de "+ DC" para "– DC") ou inverter a posição das pontas de prova.

A chave seletora de faixas

Esta chave, localizada no centro da parte inferior do instrumento, é também do tipo rotativo, com 12 posições. Sua finalidade consiste em selecionar convenientemente a faixa na função desejada. Temos seis faixas para medir tensões (contínuas e alternadas), sendo cinco selecionáveis por meio da chave e a sexta com a troca da ponta de prova vermelha para o jaque adequado, como foi mencionado linhas atrás. Para a medida de corrente contínua, temos quatro faixas ligadas a quatro posições da chave, mais duas referentes aos jaques "10 A" e "50 μAMP".

Sempre que se desejar utilizar os jaques alternativos ("10 A", "5.000 V" e "50 μAMP"), é indispensável colocar a chave seletora na posição conveniente, a saber: "10 mA", "1.000 V" e "50 V", respectivamente.

As faixas para a medida de resistências

As três posições da chave que permitem a medida de resistências estão assinaladas com "Rx1", "Rx100" e "Rx10.000".

Quando a chave estiver na posição "Rx1", o valor da resistência que está sendo medida será o próprio valor indicado na escala superior do mostrador, marcada com "OHMS". Na posição "Rx100", as indicações desta mesma escala devem ser multiplicadas por 100, e na última posição as leituras devem ser multiplicadas por dez mil.

Leitura e interpretação das escalas

Alguns aspectos referentes à leitura e interpretação das escalas já foram discutidos; outros pontos serão esclarecidos agora.

Quando se utiliza a escala de "dB" para medir niveis de saída, uma questão fundamental é a referência utilizada para a graduação da escala. Normalmente, esta referência vem gravada no próprio mostrador, em um dos cantos inferiores: no caso do instrumento descrito, a inscrição diz, "NÍVEL DE POTÊNCIA PARA ZERO dB: 0,001 WATT, 600 OHMS". Quando a chave seletora de faixas estiver na posição "2,5 V", as indicações desta escala (a de "dB", em vermelho) podem ser lidas diretamente; para cada uma das outras faixas de tensão, deve-se acrescentar à indicação da escala um determinado valor, de acôrdo com a seguinte tabela:

faixa de "10 V" — somar 12 dB
faixa de "50 V" — somar 26 dB
faixa de "250 V" — somar 40 dB

Com esta correção, o alcance da escala de dB, na faixa de "2,5 V", irá de – 20 dB a + 10 dB; na faixa de "10 V", de – 8 a + 22 dB; na faixa de "50 V", de + 6 a + 36 dB, e assim por diante.

As duas escalas que se seguem no mostrador, de baixo para cima, são usadas para a medida de *tensões alternadas*. Uma delas está calibrada de 0 a 2,5 V, e a outra tem três conjuntos de números: um deles vai de 0 a 10, outro de 0 a 50 e o terceiro de 0 a 250. Estes três conjuntos de números servem também para a escala seguinte, imediatamente abaixo da escala de "OHMS", que se destina à indicação de *tensões e correntes contínuas*. A interpretação destas escalas é simples: basta acrescentar ou subtrair o número de zeros suficiente para fazer coincidir a indicação da extrema direita da escala com o alcance da faixa, assinalado junto à cha-

ve seletora. Um exemplo eliminará as dúvidas: se estivermos utilizando a faixa de 0 a 500 mA, usaremos a escala de 0 a 50, acrescentando um zero à indicação dada pelo ponteiro; assim, quando este parar sobre o número 30, estaremos em presença de uma corrente de 300 mA.

A escala "OHMS" foi calibrada de 0 a 2 kΩ, sendo a indicação no extremo esquerdo da escala "∞". Com isto, ficamos sabendo que qualquer indicação de resistência superior a 2 kΩ não terá utilidade prática, pois a precisão será muito pequena. Para obter leituras com precisão razoável, é aconselhável fazer cair o valor a ser medido tão próximo ao centro da escala quanto possível, mudando para tanto a posição da chave seletora de faixa.

Outros detalhes do multímetro

Pode-se identificar na fotografia da Fig. 2-13 o botão de "ZERO OHMS", no canto inferior direito, o botão "REARMAR", próximo ao centro do painel, e o parafuso de "AJUSTE DE ZERO", sobre a extremidade inferior do ponteiro. Este parafuso deve ser cuidadosamente ajustado, com o auxílio de uma chave de fenda, de maneira que o ponteiro, em repouso, permaneça sobre o zero das escalas de tensão e corrente. Naturalmente, este ajuste deve ser feito com as pontas de prova desligadas de qualquer circuito externo. Raramente será necessário retocá-lo: em instrumentos de boa qualidade, o ponteiro não deve sair do zero, mesmo que o instrumento seja mudado da posição vertical para a horizontal, ou vice-versa.

O botão "ZERO OHMS" nada mais é do que o controle do cursor do potenciômetro de ajuste, já visto quando estudamos o funcionamento do ohmímetro. Com as pontas de prova curto-circuitadas, ele deve ser girado para um lado ou para o outro até que o ponteiro indique a deflexão de plena escala, correspondente à indicação "0" na escala de "OHMS". Normalmente, torna-se necessário reajustar este botão quando se passa de uma faixa de resistência para outra.

O botão "REARMAR" constitui um refinamento introduzido pelo fabricante, para permitir que o instrumento seja utilizado por estudantes e outras pessoas que não tenham ainda muita prática no uso de multímetros. O circuito do medidor foi dotado de um relé muito sensível, capaz de detectar qualquer sobrecarga e desligar o medidor antes que este seja danificado; para que volte ao funcionamento normal,

removida a sobrecarga acidental, será suficiente pressionar o botão em causa.

Medição de tensões muito baixas

Um voltímetro de alta sensibilidade, como o modelo que estamos descrevendo, pode também ser usado para medir tensões muito menores do que a menor indicação legível nas faixas normais de medição. Entretanto, é preciso que se diga que tal coisa só pode ser feita com alguma precaução para não danificar o instrumento, e que é indispensável conhecê-lo perfeitamente para fazê-lo. Senão, vejamos: na faixa de "50 μAMP", uma corrente de 50 μA é suficiente para levar o ponteiro ao fundo da escala. Como as especificações do instrumento dizem que a resistência da bobina móvel é de 5 kΩ, a lei de Ohm nos permite afirmar que a *tensão* necessária para forçar esta corrente pelo medidor será de

$$E = R\ I = 5.000 \times 0{,}00005 = 0{,}25\ V$$

Isto significa que a faixa de "50 μAMP" pode perfeitamente ser usada para medir tensões até 250 mV. Seria também possível obter outros alcances, acrescentando resistores em série com o instrumento; por exemplo, um resistor de 15 kΩ permitiria a medição de tensões até

$$(15\ k\Omega + 5\ k\Omega) \times 0{,}00005 = 1\ volt$$

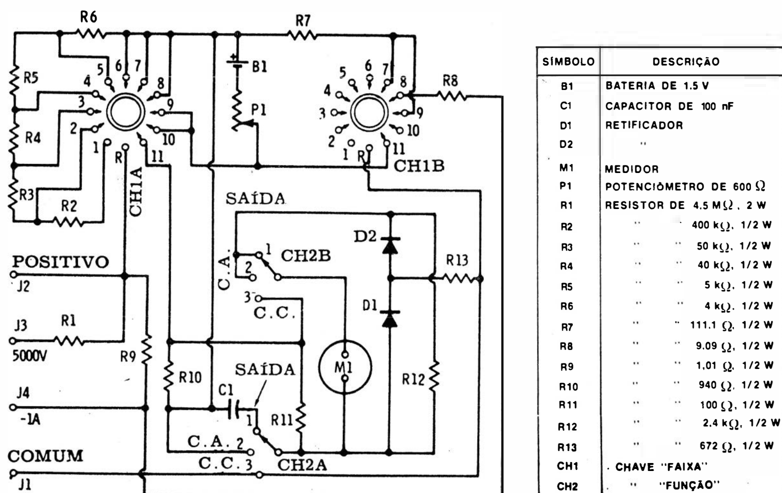
Circuito de um multimetro tipico

A Fig. 2-14A mostra o circuito de um multímetro típico. Este circuito em particular foi escolhido por causa de sua simplicidade: no diagrama esquemático, CH1, a chave seletora de faixas, tem duas seções, CH1A e CH1B, o mesmo se dando com a chave seletora de função, CH2. O símbolo circular assinalado com "M1" representa o medidor, os diodos retificadores estão marcados com D1 e D2, e os jaques para a ligação das pontas de prova foram identificados com J1, J2, J3 e J4. B1 representa a bateria para a medição de resistências, e P1 o potenciômetro que permite o ajuste de zero nesta faixa. Este instrumento permite a medição de tensões contínuas e alternadas em quatro faixas, correntes contínuas e também alternadas (no que difere da grande maioria dos demais) em quatro faixas, até 1 ampère. Sua sensibilidade, entretanto, não é muito alta: apenas 1 kΩ/V, embora o preço seja correspondentemente baixo.

Efeito de carga e sensibilidade do multímetro

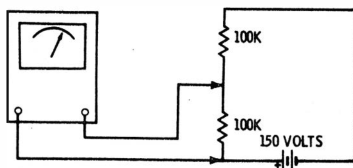
Sempre que um instrumento é ligado entre dois pontos de um circuito, para medir a tensão existente entre eles, o próprio instrumento se torna parte integrante do circuito, eventualmente alterando o valor anterior da tensão. Em alguns casos a alteração será desprezível, mas em outros ela será considerável e deverá ser levada em conta. Quanto maior for a sensibilidade do instrumento, menor será a alteração produzida; em outras palavras, menor será o *efeito de carga.*

Na Fig. 2-14B, temos uma bateria de 150 volts ligada a dois resistores de 100 kΩ em série; a queda de tensão em cada um dos resistores é de 75 V. A corrente do circuito é igual a 150 dividido por 200.000, o que nos dá 750 μA. Se for utilizado um voltímetro de 1.000 ohms por volt, na faixa de 0 a 100



SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
B1	BATERIA DE 1.5 V
C1	CAPACITOR DE 100 nF
D1	RETIFICADOR
D2	"
M1	MEDIDOR
P1	POTENCIÔMETRO DE 600 Ω
R1	RESISTOR DE 4,5 MΩ, 2 W
R2	" " 400 kΩ, 1/2 W
R3	" " 50 kΩ, 1/2 W
R4	" " 40 kΩ, 1/2 W
R5	" " 5 kΩ, 1/2 W
R6	" " 4 kΩ, 1/2 W
R7	" " 111.1 Ω, 1/2 W
R8	" " 9.09 Ω, 1/2 W
R9	" " 1,01 Ω, 1/2 W
R10	" " 940 Ω, 1/2 W
R11	" " 100 Ω, 1/2 W
R12	" " 2,4 kΩ, 1/2 W
R13	" " 672 Ω, 1/2 W
CH1	CHAVE "FAIXA"
CH2	" "FUNÇÃO"

A) Diagrama esquemático.



B) Efeito de carga.

Fig. 2-14 — Diagrama esquemático dos modelos 556 e 566 da EICO. O circuito mostrado em (B) ilustra o efeito de carga.

volts, para medir a queda de tensão sobre um dos resistores, o circuito original será drasticamente alterado: o voltímetro, na faixa de 0 a 100 V, apresenta uma resistência de 100 kΩ; isto equivale a ligar um resistor de 100 kΩ em paralelo com o já existente, resultando numa resistência de apenas 50 kΩ. Agora, o circuito será constituído pela bateria de 150 V, um resistor de 100 kΩ e outro equivalente a 50 kΩ: a tensão indicada pelo voltímetro, no caso, será de 50 V, em lugar dos 75 volts que existiam antes de sua ligação.

Agora, suponhamos que o voltímetro usado tenha uma sensibilidade de 10 kΩ/V; na faixa de 0 a 100 volts, sua resistência será de 1 MΩ. A inclusão de uma resistência deste valor em paralelo com o resistor de 100 kΩ resultará numa resistência equivalente de aproximadamente 91 kΩ. A tensão indicada pelo voltímetro, que será a existente sobre esta combinação em paralelo, terá um erro de menos de 10%: o instrumento indicará aproximadamente 71 volts.

Este exemplo demonstra claramente que, quanto maior a sensibilidade do instrumento, menor será o *efeito de carga*, e menor será também o erro cometido em considerar a tensão por ele indicada como sendo a existente antes de sua ligação ao circuito.

Precisão do multímetro

Os multímetros apresentam sempre uma precisão um pouco menor do que a do medidor com que são equipados: isto porque os multiplicadores (e, no caso das faixas de tensão alternada, também os diodos retificadores) introduzem um certo erro próprio, que deve ser somado ao do medidor.

O instrumento recém-descrito, por exemplo, tem uma precisão de ± 3% da deflexão de plena escala; esta especificação é considerada muito boa, sendo raros os instrumentos que apresentam precisão de 2% ou melhor (com exceção, é claro, dos instrumentos de laboratório).

Se, por exemplo, estivermos medindo, na faixa de 150 volts, uma tensão de 100 volts, o erro desta indicação poderá chegar a $0{,}03 \times 150 = 4{,}5$ V, para mais ou para menos, indicando o ponteiro um valor entre 95,5 V e 104,5 V.

Do que foi dito, torna-se perfeitamente claro porque devemos preferir sempre efetuar leituras no terço superior de qualquer escala: se, usando a mesma faixa, quiséssemos medir uma tensão de 5 V, o erro relativo poderia chegar a quase

100%, pois o instrumento poderia indicar qualquer valor entre 0,5 V e 9,5 V!

A tolerância de ± 3% das faixas de tensão e corrente contínuas é devida à precisão de 2% do medidor utilizado, somada à precisão de 1% dos resistores multiplicadores. Nas faixas de tensão alternada, a precisão total é de 5%, pois é necessário somar a tolerância de 2% dos retificadores usados.

Resposta de freqüência dos multímetros

Quando se medem tensões alternadas, é importante conhecer a resposta de freqüência do instrumento. Se não for especificado nada em contrário, uma norma prudente consiste em admitir que as indicações são corretas apenas nas freqüências industriais (50 ou 60 Hz). Devido a esta limitação, muitos multímetros vêm equipados com pontas de prova especiais, providas de um retificador interno, permitindo que sejam medidas tensões em freqüências de áudio ou mesmo de R.F., sem perda apreciável na precisão.

Resumo das limitações dos multímetros

Verificamos, nos parágrafos anteriores, que à medida que a freqüência do sinal a ser medido ou a impedância do circuito a ser analisado aumentam, o instrumento fornece indicações mais e mais falsas. A medição de resistências também não apresenta grande confiabilidade; felizmente, entretanto, em geral não se exige uma grande precisão nesta medida. Quando ela for absolutamente indispensável, será necessário recorrer a uma ponte de Wheatstone, ou outro instrumento semelhante.

A maioria dos diagramas esquemáticos fornecidos pelos fabricantes de equipamentos eletrônicos traz indicações de tensões e resistências, mas ressalva que os valores reais podem se afastar até 20% dos indicados sem que o funcionamento seja perturbado: por isso, a precisão normal dos multímetros — sempre melhor do que 5 ou 6% — é amplamente suficiente para os serviços de manutenção.

CIRCUITOS DE VOLTÍMETROS ELETRÔNICOS

A configuração geral de um voltímetro a válvula é semelhante à de um multímetro, com a diferença de que o primeiro utiliza uma ou mais válvulas eletrônicas. Estas se destinam a isolar o circuito do medidor do circuito a ser analisado, eli-

minando assim a maior parte do efeito de carga apresentado pelos multímetros. Servem também como amplificadoras, permitindo que se use um medidor mais barato e mais rústico. Outra função acessória que elas desempenham consiste na proteção do medidor, uma vez que ficam entre este e o circuito sob prova. A resposta de freqüência também é, normalmente, maior, e a capacitância de entrada consideravelmente reduzida. Finalmente, os voltímetros a válvula sofrem uma influência muito menor das variações da temperatura ambiente.

Resistência de entrada dos V.A.V.

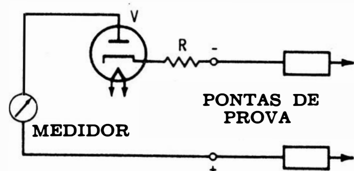
Como o circuito de entrada dos V.A.V. é normalmente constituído por um divisor de tensão, com resistores de alto valor, estes instrumentos apresentam uma resistência de entrada muito alta, sendo 11 MΩ um valor típico. Esta resistência se mantém constante, qualquer que seja a faixa de medição. Devido à existência de um resistor de 1 MΩ em série com a entrada, a influência da capacitância parasita é reduzida ao mínimo.

Tipos de voltímetros a válvula

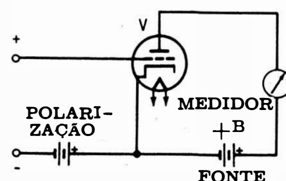
Na construção de um voltímetro a válvula são empregados alguns circuitos típicos, que veremos a seguir. Um V.A.V. utiliza normalmente mais de um destes circuitos.

A Fig. 2-15A ilustra o princípio geral da utilização de um diodo a vácuo, a válvula V, para medir tensão: em série com a válvula, estão o resistor R e o medidor. Se a tensão a ser medida for positiva na ponta de prova ligada ao medidor, passará corrente pelo diodo, e o medidor indicará esta corrente. O resistor R aumenta a impedância de entrada, mas, se for de valor muito elevado, reduzirá excessivamente a corrente no circuito de medição, tornando o arranjo inútil.

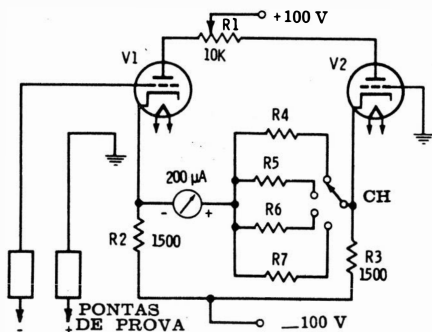
A Fig. 2-15B apresenta alguma melhora: temos aqui um triodo, e a tensão a ser medida é aplicada entre grade e catodo, sendo o medidor usado para medir a corrente de placa resultante. A bateria de polarização assegura uma tensão sempre negativa na grade (em relação ao catodo), e por isso a corrente de grade será praticamente nula; desta maneira, o efeito de carga será inexistente. As tensões de placa e polarização de grade são escolhidas de maneira a assegurar o funcionamento na parte linear das curvas características.



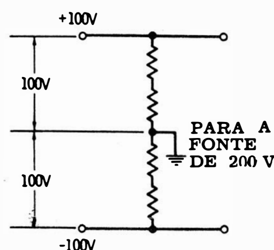
A) Ligação de um diodo a vácuo.



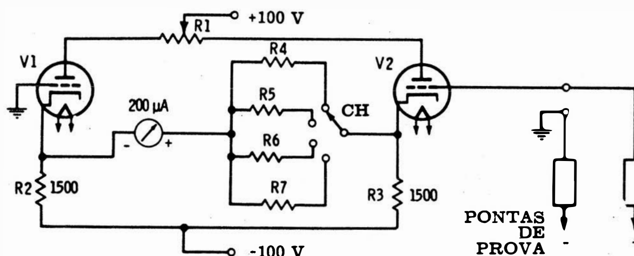
B) Voltímetro a válvula usando um triodo.



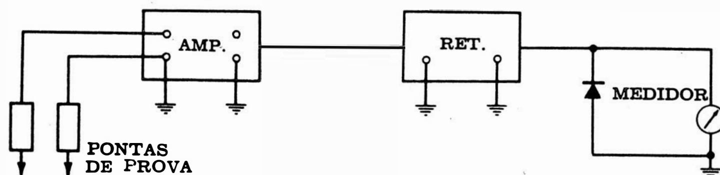
C) Circuito em ponte para a medida de tensões negativas.



D) Fonte de alimentação.



E) Circuito em ponte para a medida de tensões positivas.



F) Princípio do circuito amplificador-retificador.

Fig. 2-15 — Circuitos básicos utilizados em voltímetros a válvula.

Uma desvantagem deste circuito consiste na possibilidade de a tensão a ser medida ultrapassar a tensão de polarização de grade; neste caso, haverá corrente de grade, e a resistência de entrada cairá drasticamente. Na prática, as baterias mostradas na Fig. 2-15B são substituídas por uma fonte de alimentação a retificador e filtro, dentro da caixa do V.A.V.

Este circuito rudimentar também pode ser usado para medir tensões alternadas; basta tornar a grade suficientemente negativa, levando a válvula ao corte. Quando não houver tensão aplicada, a corrente de placa será nula; mas quando for aplicada à entrada uma tensão alternada, os semiciclos positivos farão com que a válvula conduza, e o medidor proporcionará uma indicação relativa à tensão de grade. Novamente, é indispensável manter a excursão do sinal de grade inferior à tensão de polarização, para evitar a ocorrência de corrente de grade. O medidor responderá ao valor médio dos semiciclos que foram amplificados pela válvula, mas o mostrador poderá ser calibrado em termos de valor médio, eficaz, crista-a-crista, etc., desde que a tensão medida seja sempre senoidal.

Nos circuitos práticos, é usual colocar um capacitor em série com uma das pontas de prova, para bloquear qualquer componente contínua acaso presente no circuito, e que anularia a polarização da válvula.

Circuito com triodos equilibrados

O circuito apresentado nas Figs. 2-15C e D permite a medição de tensões *negativas* em relação à massa, sendo o diagrama da Fig. 2-15C o do voltímetro propriamente dito e o da Fig. 2-15D o da fonte de alimentação. A Fig. 2-15E ilustra a modificação necessária para a medição de tensões *positivas* em relação à massa; a passagem de um circuito para o outro é normalmente feita por meio de uma chave no painel do instrumento. O medidor, para 200 μA, é ligado entre os catodos de V1 e V2, através de R4 e R7. As placas das válvulas são ligadas, através do potenciômetro R1, a uma tensão positiva de 100 volts, sendo os catodos ligados a uma tensão negativa, também de 100 volts, através de R2 e R3. Desta maneira, a tensão entre catodo e placa de cada válvula é de 200 volts.

Para medir tensões negativas (Fig. 2-15C), as pontas de prova são curto-circuitadas para ajustar o zero do instru-

mento, por meio de R1. Nesta situação, as duas válvulas estão em paralelo, com o microamperímetro ligado entre os catodos; se o circuito for perfeitamente simétrico, as quedas de tensão sobre R2 e R3 serão iguais e não haverá corrente pelo medidor. Quando as pontas de prova forem agora ligadas a uma tensão (*negativa* na grade de V1), esta válvula passará a conduzir menos, reduzindo a queda de tensão sobre R2 e tornando a tensão no catodo de V1 mais negativa. Conseqüentemente, haverá agora corrente circulando pelo medidor, e sua escala poderá ser calibrada para indicar a tensão medida.

O circuito da Fig. 2-15E funciona de maneira análoga, com a diferença de que agora a grade de V1 está ligada à massa e a grade de V2 é ligada à tensão a ser medida, que agora é positiva. A segunda válvula conduzirá agora mais do que antes, com o que aumentará a queda de tensão sobre R3 e a tensão no catodo de V2 ficará mais positiva, provocando novamente a passagem de corrente pelo medidor.

Circuito retificador-amplificador

Na maioria dos V.A.V., a ponta de prova "viva" (ou seja, a que não está ligada à massa do instrumento) traz, montado internamente, um duplo diodo. Para a medição de tensões alternadas, portanto, a retificação pode ser feita dentro da própria ponta de prova, com o que o instrumento em si pode ser projetado para medir apenas tensões contínuas. O uso deste circuito possibilita medições até algumas dezenas de megahertz, pois as únicas capacitâncias parasitas a prejudicar a resposta de freqüência serão as da própria ponta de prova. Se for usado um capacitor de bloqueio para tensão contínua, este reduzirá ainda mais a influência da capacitância da ponta de prova sobre o circuito analisado.

Antigamente, o duplo-diodo usado dentro da ponta de prova era uma válvula a vácuo, mas hoje em dia ela é substituida por diodos de germânio ou silício, eliminando assim a necessidade de fios separados para a alimentação do filamento. Este circuito é conhecido como *retificador-amplificador*.

Circuito amplificador-retificador

A Fig. 2-15F mostra o circuito utilizado quando se deseja medir tensões alternadas muito pequenas. Diversos estágios amplificadores se encarregam de aumentar o nível da tensão a ser medida, antes que ela seja finalmente retificada e apli-

cada ao medidor. Este processo de amplificação, antes da retificação, se torna necessário porque os diodos não se comportam de forma linear para baixos valores de tensão aplicada. A principal desvantagem deste circuito reside na sua resposta de freqüência, que é consideravelmente limitada, em especial se for usado um capacitor na entrada para bloquear as tensões contínuas. A resposta de freqüência normalmente fica limitada à faixa entre 10 Hz e 100 kHz.

Circuito prático de um voltímetro a válvula

A Fig. 2-16 ilustra um voltímetro a válvula típico. Ligadas ao instrumento, estão as pontas de prova, sendo a comum equipada com uma garra jacaré. No painel frontal temos, da esquerda para a direita, o seletor de faixas, o ajuste de zero, o ajuste de ohms e a chave seletora de função. Logo acima do jaque das pontas de prova, está o parafuso de ajuste mecânico de zero do medidor. Embora este instrumento seja bastante compacto, o mostrador tem uma área visível bem grande — 17 cm × 10 cm. No mostrador, além das escalas de tensões contínuas e de valores eficazes, existe uma escala para indicar valores crista-a-crista. No canto superior esquerdo do

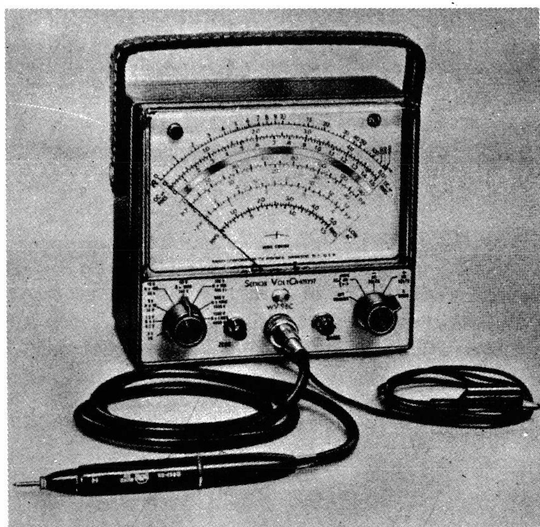


Fig. 2-16 — Voltímetro a válvula RCA Senior VoltOhmyst, modêlo WV98C.

mostrador está colocada a lâmpada-piloto que indica quando o instrumento está ligado.

Quando o instrumento é desligado, a bobina móvel do medidor é curto-circuitada por um contato especial da chave seletora de função, para amortecer seus movimentos e permitir que o instrumento seja transportado sem perigo de danificar o ponteiro.

O diagrama esquemático deste aparelho está na Fig. 2-17. O medidor (assinalado com M1, no centro, à direita) é ligado entre as placas dos triodos da 12AU7. O duplo-diodo 6AL5 constitui um retificador de onda completa, e o medidor usado é de 200 microampères.

A seção CH2A da chave seletora de faixas comuta os diversos multiplicadores para o circuito do ohmímetro, ao passo que CH2C faz o mesmo com os multiplicadores das faixas de tensão. No diagrama esquemático, ambas as chaves foram desenhadas na posição extrema, em sentido contrário aos ponteiros do relógio; desta forma, a chave seletora de função está na posição "DESLIGADO", e o medidor se encontra curto-circuitado pelos contatos 11 e 20 de CH1C.

AJUSTES E CALIBRAÇÃO DOS VOLTÍMETROS A VÁLVULA

A exposição que se segue, referente à calibração dos V.A.V. e ao reajuste que se torna necessário depois de algum conserto, foi baseada no circuito da Fig. 2-17; entretanto, nada se perdeu em generalidade, porque a grande maioria dos demais instrumentos tem um circuito muito semelhante a este.

Ajuste de zero do ponteiro

Antes de se proceder à calibração de um voltímetro a válvula, é necessário certificar-se de que o ponteiro repousa sobre o zero das escalas, quando o instrumento está desligado. Este ajuste é semelhante ao efetuado nos multímetros, e deve ser feito com uma chave de fenda.

Tempo de aquecimento

Depois de ligar o voltímetro a válvula, é indispensável aguardar cerca de 15 minutos antes que se possa proceder à calibração. Este período de tempo é necessário para que os filamentos das válvulas atinjam a temperatura normal de funcionamento.

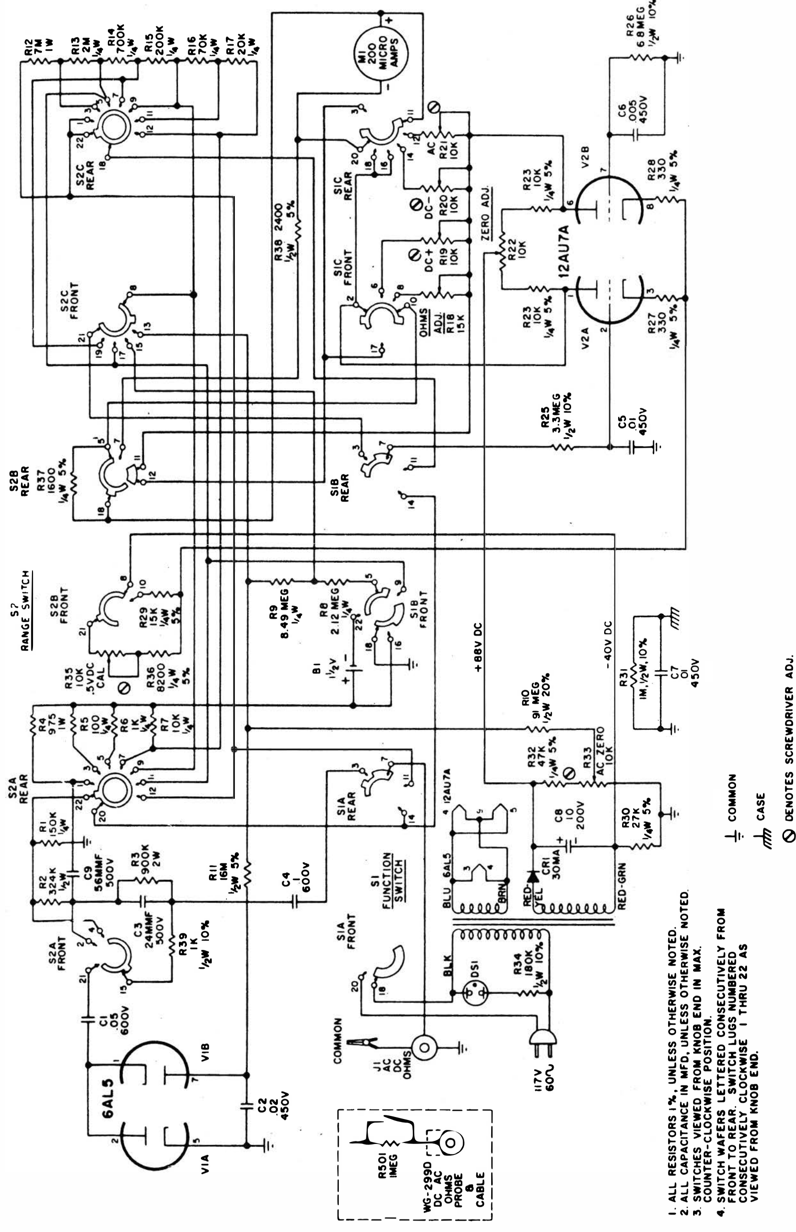


Fig. 2-17 — Diagrama esquemático do RCA Senior VoltOhmyst.

Depois deste intervalo, pode-se proceder a uma verificação preliminar: girando o botão de ajuste de zero, de um extremo a outro, deve ser possível estacionar o ponteiro em zero ou levá-lo ao meio da escala, se o seletor estiver na posição "+ DC", ou até 10% da deflexão total, se o seletor estiver em "– DC". Se não for possível obter estes resultados, a 12AU7 provavelmente estará defeituosa e necessitará substituição. Se o ajuste de zero for regulado para posicionar o ponteiro exatamente sobre o zero, com o seletor em "+ DC", a alteração de posição do ponteiro, quando o seletor for voltado para "– DC" deverá ser pequena ou nula.

Calibração das faixas de tensão contínua

Periodicamente, é necessário recalibrar o voltímetro a válvula; deve-se efetuar em primeiro lugar a calibração das faixas de tensão contínua. Este ajuste, entretanto, só será possível se a tensão da rede de alimentação não fôr muito diferente da tensão nominal especificada pelo fabricante, sendo toleradas variações de ± 10%. O procedimento a seguir é este:

Com a chave seletora de função na posição "+ DC", depois de um período de aquecimento inicial de 30 minutos, gire o botão de ajuste de zero até que o ponteiro estacione exatamente sobre o zero à esquerda da escala. A seguir, com o instrumento comutado para a faixa de 50 V, ligue as pontas de prova a uma fonte de tensão conhecida, que tenha *exatamente 50 volts*. Com uma chave de fenda, ajuste então o potenciômetro de calibração para tensão contínua (que só é acessível internamente), até que o ponteiro deflexione precisamente até o fundo da escala.

Depois, inverta as pontas de prova e a chave seletora de função para "– DC", agindo sobre o potenciômetro de calibração para tensões *negativas* (que também só é acessível depois de aberta a caixa do medidor), até que o ponteiro volte a indicar os mesmos 50 volts. Feito isto, todas as demais faixas estarão calibradas.

Calibração da faixa de baixa tensão

Alguns voltímetros a válvula dispõem ainda de um potenciômetro de calibração separado para a faixa de tensões mais baixas, normalmente de 0,5 V. A calibração deste potenciômetro deve ser feita de maneira inteiramente semelhante à descrita anteriormente, com o auxílio de uma fonte padrão de 0,5 volt.

Calibração das faixas de tensão alternada

Uma vez completada a calibração das faixas de tensão contínua, o V.A.V. pode ser calibrado para medir corretamente tensões alternadas. A chave seletora de função deve ser comutada para "AC", e a própria ponta de prova deve ser adaptada para isto, voltando a chave embutida em seu corpo para "AC/OHMS". A calibração é feita na faixa mais baixa, ou seja, a de 1,5 volt. Para certificar-se de que não estão sendo induzidas tensões parasitas, por campos elétricos espúrios, é necessário curto-circuitar as pontas de prova.

O potenciômetro de calibração de zero, para tensão alternada, deve então ser ajustado para que o ponteiro indique exatamente zero. Se não for possível conseguir este resultado, o duplo diodo dentro da ponta de prova estará defeituoso e deverá ser substituído.

Admitindo que o ponteiro seja colocado precisamente sobre o zero, deve-se então verificar, com uma tensão de 50 volts, alternada, se a indicação de plena escala (evidentemente, com o instrumento comutado para esta faixa de tensão) é correta; em caso contrário, reajustar o potenciômetro de calibração para tensão contínua de modo a levar o ponteiro exatamente ao fim da escala.

Calibração do ohmímetro

Antes de proceder à calibração do ohmímetro, é uma boa idéia verificar se a bateria interna está em bom estado, pois uma bateria parcialmente esgotada pode permitir a calibração, mas impedir que o instrumento funcione corretamente depois.

O primeiro passo consiste em certificar-se de que o ponteiro permanece em zero, com o instrumento comutado para "+ DC"; em caso contrário, deve-se proceder ao reajuste, como foi explanado anteriormente.

A seguir, a chave seletora deve ser voltada para a posição "OHMS", e, com o instrumento na faixa mais baixa (Rx1), o controle de AJUSTE DE OHMS deve ser regulado para que o ponteiro indique precisamente o fim da escala, correspondendo a resistência infinita. Com as pontas de prova em curto, o ponteiro deve voltar para o zero à esquerda da escala. Sem tocar mais nos controles ou potenciômetros de calibração, o ponteiro deve ficar exatamente sobre o último traço da escala, com as pontas de prova desligadas, ou sobre o

zero à esquerda, com elas em curto-circuito, em qualquer faixa de medição de resistências. Se isto não acontecer, haverá seguramente um componente defeituoso no circuito do ohmímetro. A única exceção consiste na faixa mais baixa: pode ser que a posição do controle "AJUSTE DE OHMS" correta para esta faixa seja diferente da posição adequada para as demais faixas.

Se for impossível levar o ponteiro ao fundo da escala em qualquer das faixas de resistência, isto é sinal evidente de que a bateria se encontra esgotada e necessita substituição.

Quando se tornar necessária a substituição de qualquer válvula em um V.A.V., a substituta deve ser "envelhecida" durante pelo menos 50 horas, para que a calibração do instrumento, que será feita a seguir, permaneça estável.

Existem alguns instrumentos que dispõem de mais recursos do que o modelo que analisamos aqui: para estes, devem ser seguidas à risca as instruções do fabricante, para a calibração. Esta regra, aliás, se aplica indistintamente a qualquer classe de instrumento.

UTILIZAÇAO DO VOLTÍMETRO A VALVULA

As informações que se seguem são necessariamente limitadas, mas servirão como orientação geral para o emprego de quase qualquer tipo de V.A.V. Antes de utilizar estes instrumentos, como já dissemos, é indispensável deixá-los aquecer durante 20 a 30 minutos, para que as leituras mereçam confiança.

Identificação das escalas do V.A.V.

A Fig. 2-18 mostra o aspecto das escalas que usaremos como referência, para as explicações que se seguem. A escala "R" serve para todas as medidas de resistência, em qualquer faixa; os valores assinalados nesta escala devem ser multiplicados por 1, 10, 100, etc., de acordo com a indicação da chave seletora de faixas. As escalas "A" e "B" servem para todas as medidas de tensão contínua e alternada, com exceção das duas faixas de C.A. de menor alcance (5 volts e 1,5 volt), para as quais devem ser usadas, respectivamente, as escalas "E" e "G".

As escalas "C" e "D" são usadas para indicar os valores crista-a-crista das tensões alternadas, para todas as faixas com exceção das duas de menor alcance, as de 4 V e 14 V, que são indicadas nas escalas "H" e "F", respectivamente.

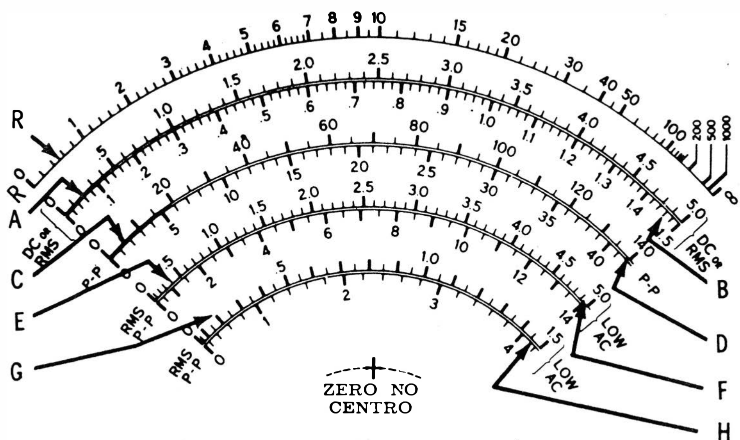


Fig. 2-18 — Identificação das escalas do instrumento.

A maioria dos voltímetros a válvula não dispõe de faixas de medição de correntes. Uma das razões para isto é a baixa sensibilidade do medidor usado com o V.A.V., em comparação com os que são empregados nos multímetros. Outra razão é que, se os voltímetros a válvula fossem dotados de recursos para medir correntes, tornar-se-iam muito sensíveis a eventuais sobrecargas, desaparecendo a grande vantagem que apresentam: os voltímetros eletrônicos são praticamente imunes a sobrecargas. Quando for indispensável medir corrente, será necessário fazê-lo indiretamente, medindo a tensão sobre um resistor conhecido e usando a lei de Ohm.

Medição de tensões muito elevadas

Os fabricantes normalmente não oferecem instrumentos capazes de medir mais do que 1.000 volts, ou, no máximo, 5.000 V. A causa desta limitação reside no perigo a que estaria exposto o operador, ao lidar com tensões mais elevadas, além do maior cuidado que seria necessário no projeto do aparelho, que deveria ter todos os seus componentes — isolamento dos fios, chaves seletoras, etc. — dimensionados para trabalhar com tais valores de tensão.

Apesar disto, é possível medir altas tensões com um multímetro ou voltímetro a válvula, com o auxilio de um acessório especial — a ponta de prova de alta tensão. Esta ponta de prova é dotada de um resistor embutido, que serve de mul-

tiplicador em série, reduzindo a tensão a um nível tal que possa ser aplicada sem perigo aos instrumentos convencionais.

A ponta de prova dos V.A.V. para alta tensão

Uma ponta de prova típica para alta tensão (fig. 2-19), projetada para emprego em conjunto com um voltímetro a válvula convencional de 11 MΩ de impedância de entrada, tem um resistor de 1.089 MΩ em seu interior; estes resistores — o embutido na ponta de prova e a resistência de entrada do voltímetro a válvula — formam um divisor de tensão, que aplica à entrada do V.A.V. apenas uma pequena parcela da tensão de entrada:

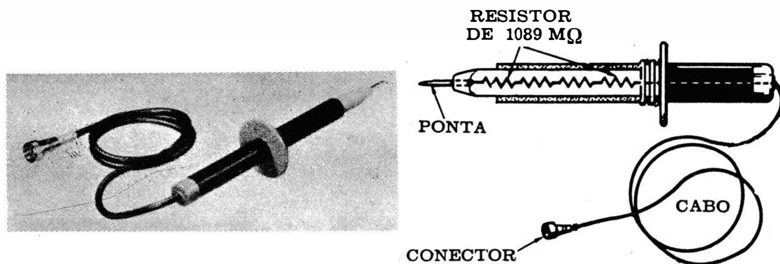
$$\frac{11}{1.089 + 11} = \frac{11}{1.100} = \frac{1}{100}$$

Desta maneira, apenas um centésimo da tensão total será aplicada ao instrumento, o que significa que, na escala de 500 volts, este último poderá medir até 50.000 volts.

Existem à venda no comércio pontas de prova para alta tensão com diversos valores de resistência, de forma a casar com a impedância de entrada de qualquer modelo de V.A.V.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE ESTADO SÓLIDO

Atualmente, existem diversos instrumentos de medida que utilizam dispositivos de estado sólido para medir tensão, corrente ou resistência. O termo "estado sólido" significa que o



A) Aspecto físico. *B) Construção interna.*

Fig. 2-19 — Ponta de prova para alta tensão.

instrumento utiliza transistores ou circuitos integrados (C.I.), ou mesmo uma combinação dos dois.

Entre as vantagens de um instrumento de estado sólido, podemos citar: a ausência do período de pré-aquecimento, a redução de tamanho e peso, além de dispensarem eles a rede de alimentação e não produzirem calor quando em funcionamento. Como trabalham com tensões baixas, a possibilidade de choques perigosos para o operador fica também muito reduzida. A alimentação a partir de pilhas secas elimina radicalmente o problema do zumbido, que é tanto mais prejudicial quanto mais baixa for a tensão a ser medida.

O desenvolvimento dos transistores de efeito de campo é o grande responsável pela existência de instrumentos práticos, de preço moderado e com características excepcionais: o T.E.C. apresenta alto ganho, elevadíssima impedância de entrada e excelente resposta de freqüência.

A Fig. 2-20 ilustra um instrumento que emprega dois transistores de efeito de campo: o princípio de funcionamento do

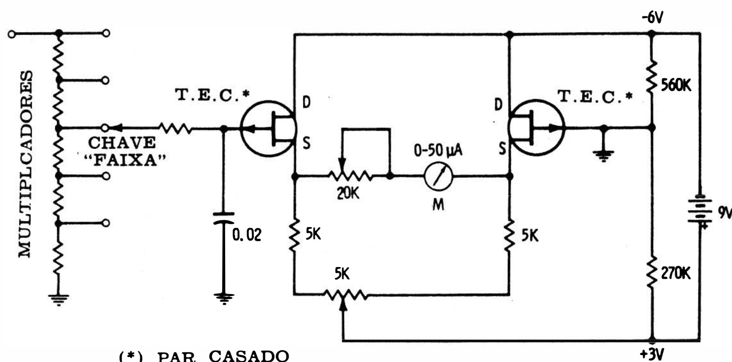


Fig. 2-20 — Circuito básico de voltímetro com transistor de efeito de campo.

circuito é o mesmo do voltímetro a válvula anteriormente descrito, embora os circuitos reais sejam mais complexos.

Um multímetro de estado sólido

O instrumento representado na Fig. 2-21 apresenta todas as melhores características dos multímetros e dos voltímetros a válvula: o fabricante fornece o instrumento montado e funcionando ou o material completo para a montagem, sob

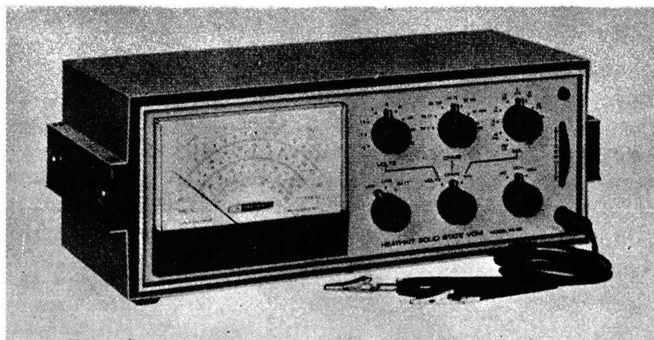


Fig. 2-21 — Multímetro de estado sólido da HEATHKIT, modelo IM-25.

forma de "kit". Pode ser alimentado pela rede C.A., graças a uma fonte de alimentação montada internamente, ou por uma bateria de pilhas secas.

O circuito utiliza 13 transistores bipolares e dois T.E.C., daí resultando uma precisão excelente e uma impedância de entrada tão alta quanto a de qualquer voltímetro a válvula: 11 MΩ para tensões contínuas e 10 MΩ para tensões alternadas. A faixa de tensão de alcance mais baixo é de 150 mV,

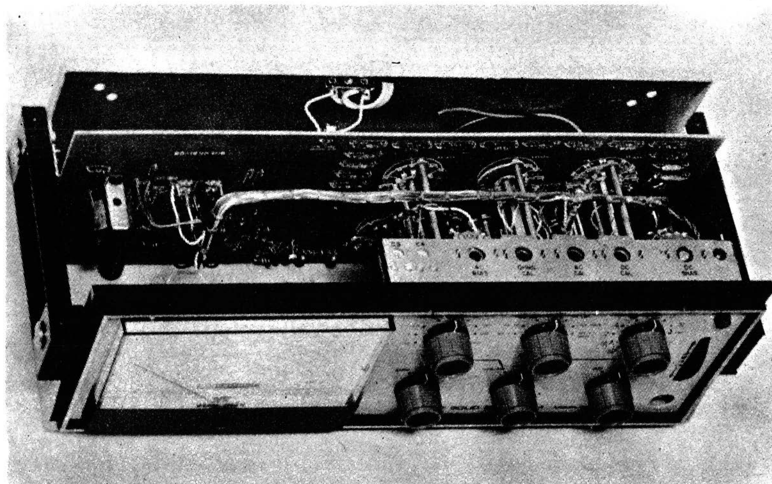


Fig. 2-22 — Vista de topo, com a tampa removida, do IM-25.

C.A. ou C.C.; a menor faixa de corrente é de 15 µA. A vista superior deste instrumento, com a tampa superior removida, é mostrada na Fig. 2-22.

Descrição do circuito do multímetro de estado sólido

O diagrama esquemático do instrumento acima referido está na Fig. 2-23. As informações que se seguem foram extraídas do manual de instruções do fabricante.

O instrumento tem cinco partes principais:

1) A ponta de prova
2) Os circuitos de entrada
3) O amplificador
4) O circuito de saída
5) A fonte de alimentação.

Na parte esquerda do diagrama, temos as chaves seletoras de *função* (que escolhe tensão, corrente ou resistência), *modo* (com duas posições, correspondentes a *C.A.* e *C.C.*) e *faixas* (em número de três: "VOLTS RANGE", "mA RANGE" e "OHMS RANGE"). O instrumento pode medir tensões alternadas e contínuas, correntes alternadas e contínuas e resistências. As chaves seletoras dos circuitos de entrada selecionam os divisores e atenuadores adequados, determinando qual a percentagem da tensão, corrente ou resistência presentes na entrada que acionarão o amplificador e provocarão a deflexão do ponteiro.

No lado direito do diagrama, estão o amplificador, o retificador do medidor e seus respectivos circuitos e as seções de saída da chave seletora de modo. A fonte de alimentação regulada está na parte inferior, à direita.

A principal finalidade dos circuitos de atenuação e comutação, na parte esquerda do diagrama, é proporcionar, aos circuitos amplificadores que estão na parte direita, a tensão correta de excitação (aproximadamente, 150 milivolts para deflexão de plena escala). Temos, a seguir, a descrição detalhada de cada parte do circuito.

A ponta de prova

Na ponta de prova, estão alojados uma chave com duas posições e um resistor de precisão de 1 MΩ. Com a chave na

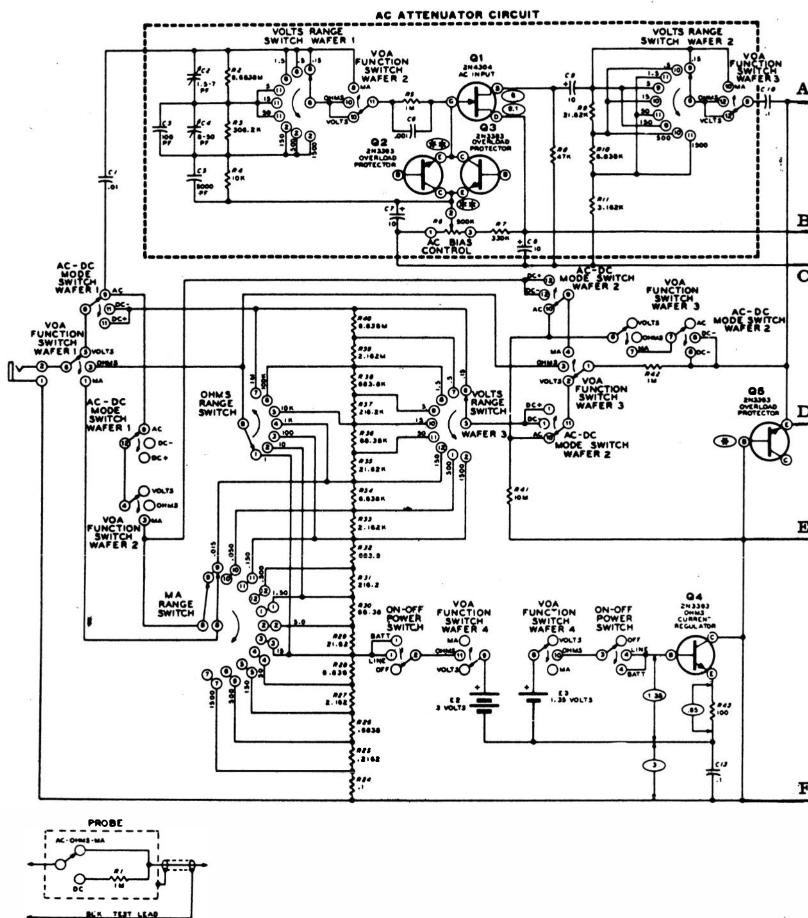


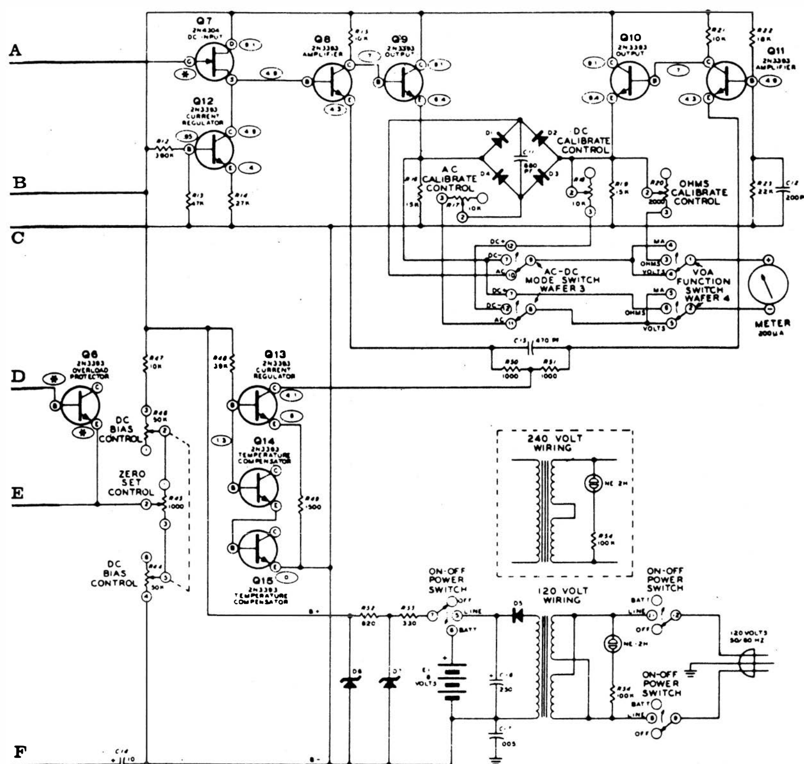
Fig. 2-23 — Diagrama esquemático do multímetro IM-25.

posição *DC*, o resistor de 1 MΩ é ligado em série com a ponta de prova; na posição *AC-OHMS*, o resistor é curto-circuitado.

O fio da ponta de prova é ligado, por intermédio do jaque de entrada, no painel do instrumento, diretamente ao pólo da chave seletora de função.

Circuitos de entrada: medição de tensões contínuas

Com as chaves da ponta de prova, seletora de função e seletora de modo comutadas para medir *tensão contínua*, a



NOTES:

1. ALL RESISTORS ARE 1/2 WATT UNLESS MARKED OTHERWISE. RESISTOR VALUES ARE IN OHMS (K=1000, MEG = 1,000,000)

2. ALL CAPACITOR VALUES ARE IN μFD UNLESS MARKED OTHERWISE

3. ⬭ THIS SYMBOL INDICATES A POSITIVE DC VOLTAGE MEASUREMENT, TAKEN WITH AN 11 MEGOHM VTVM, FROM THE POINT INDICATED TO B-. VOLTAGES MAY VARY ±10%.

4. * VOLTAGE DEPENDS UPON SETTING OF CONTROLS R44, R45, AND R46

5. * * VOLTAGE DEPENDS UPON SETTING OF CONTROL R6.

6. ALL SWITCH WAFERS SHOWN IN FULL COUNTERCLOCKWISE POSITION, AS VIEWED FROM THE KNOB END OF THE SHAFT

7. ARROWS INDICATE CLOCKWISE ROTATION OF KNOB

8. REFER TO THE CHASSIS PHOTOGRAPHS AND CIRCUIT BOARD X-RAY VIEW FOR THE PHYSICAL LOCATION OF PARTS

tensão presente na entrada do instrumento é aplicada aos resistores R24 a R40, que constituem o divisor de tensão.

A pastilha 3 da chave "VOLTS RANGE", quando na posição "0,15", permite que a tensão aplicada à ponta de prova passe, através de R42 e das chaves seletoras de modo e função, diretamente ao transistor TR7, que constitui a entrada do amplificador.

Nas outras posições desta chave, que seleciona o alcance do instrumento quando usado como voltímetro, o transistor

TR7 é acoplado a uma tomada convenientemente escolhida do divisor de tensão da entrada. A resistência total deste divisor é sempre de 10 MΩ; desta forma, quando a chave estiver na posição "1.500 V", por exemplo, a resistência para a massa da tomada utilizada é de apenas 1 kΩ, o que significa que a relação entre a tensão na ponta de prova e a existente na entrada do amplificador é de 10.000 para 1. Quando a tensão a ser medida for de 1.500 volts, teremos na base de TR7 um décimo milésimo deste valor, ou seja, os 150 milivolts requeridos para levar o ponteiro ao fundo da escala.

Como a entrada do amplificador exige apenas 150 mV para operar, torna-se evidente que qualquer tensão maior do que esta deverá passar pelo divisor, para ser convenientemente atenuada.

Circuito de entrada para tensões alternadas

Quando o instrumento é comutado para a medição de tensões alternadas, o capacitor C1 é ligado em série com a ponta de prova, e o atenuador utilizado compreende um divisor de tensão de entrada, os transistores TR1, TR2 e TR3 e um divisor de tensão de saída.

Quando a chave seletora de faixa ("VOLTS RANGE") estiver numa das três posições de alcance mais baixo ("0,15", "0,5" ou "1,5"), a tensão aplicada não será atenuada pelo divisor de tensão de entrada, passando, através da pastilha 2 da chave seletora de função e da combinação de R5 e C6, diretamente à porta do transistor TR1.

Este transistor está ligado na configuração "seguidor de supridouro" (correspondente ao "seguidor de emissor" dos transistores comuns), para proporcionar alta impedância de entrada, evitando assim um efeito de carga muito pronunciado. Assim, as tensões de entrada inferiores a 1,5 V passam pelo transistor TR1 e pelo capacitor C9, atingindo o divisor de tensão de saída através da pastilha 2 da chave seletora de faixa.

Na posição "0,15" desta chave, naturalmente, o divisor de tensão de saída não atenua o sinal, que é integralmente aplicado à entrada de TR7.

Nas posições "0,5" e "1,5", somente o divisor de tensão de saída atenua o sinal, segundo uma relação de 3,16 para 1 (10 dB) ou 10 para 1 (20 dB). Nas posições "5", "15" e "50", o divisor de tensão de entrada proporciona uma atenuação

de 31,6, para 1 (30 dB), e o divisor de tensão de saída volta a apresentar as três relações de atenuação já vistas (nenhuma atenuação, 3,16 para 1 e 10 para 1).

Para as posições "150", "500" e "1.500", o divisor de tensão de entrada provê uma atenuação de 1.000 para 1 (60 dB), ao passo que o outro divisor é comutado da maneira descrita anteriormente.

A resposta de freqüência deste multímetro transistorizado se estende acima de 100 kHz. As capacitâncias parasitas da ponta de prova, da fiação e dos circuitos de entrada poderiam provocar erro nas medidas, mas para compensar os efeitos capacitivos, eliminando assim esta fonte de imprecisões, foram previstos os capacitores C2 a C5, que compensam o divisor de tensão de entrada, sendo os capacitores ajustáveis C2 e C4 regulados nas faixas de 5 a 50 V e 150 a 1.500 V, respectivamente.

O resistor R5 e os transistores TR2 e TR3 (que são utilizados como diodos zener) constituem um circuito de proteção contra sobrecargas, para o transistor TR1. Se a tensão aplicada à porta deste transistor exceder o nível de 9 V, determinado pela ação de TR2 e TR3, estes últimos conduzirão em semiciclos alternados, limitando a tensão aplicada a TR1 e protegendo a este último.

Circuito de entrada para a medição de correntes

Este instrumento tem condições para medir correntes, sejam contínuas ou alternadas, desde 15 μA (a plena escala) até 1,5 A. A corrente a ser medida é forçada a passar por um resistor de valor conhecido, e o instrumento mede então a queda de tensão sobre este resistor.

A chave "mA RANGE", que seleciona o alcance para a medição de correntes, escolhe um ou mais dos resistores R24 até R34, ligando-o em paralelo com as pontas de prova; quando estas forem conectadas em série com o circuito em prova, a corrente que passa pelo resistor provoca uma determinada queda de tensão, que é levada aos circuitos de entrada do voltímetro.

O circuito do voltímetro, evidentemente, funciona ora como voltímetro de C.C., ora como voltímetro de C.A., dependendo da natureza da corrente a ser medida, sendo a alteração proporcionada pela chave de *modo*. Deve-se observar que a chave embutida na própria ponta de prova deve permane-

cer na posição AC-OHMS, tanto para a medição de correntes alternadas como contínuas.

Circuito de entrada do ohmímetro

A bateria E2, em conjunto com o transistor TR4, opera como uma fonte de corrente constante para alimentar o circuito do ohmímetro. Para simplificar as explicações que se seguem, admitamos que a chave "OHMS RANGE" está na posição "R × 1".

O transistor TR4 é polarizado pela bateria de mercúrio E3, de 1,35 volt, de maneira a debitar uma corrente constante de aproximadamente 7 mA, através do resistor R43. Esta corrente atravessa também os resistores R24 a R28, que totalizam 10 ohms, provocando aí uma queda de tensão de 70 milivolts.

Esta queda de tensão, através da chave seletora de alcance do ohmímetro, é acoplada à porta do transistor TR7, que é a entrada do amplificador. Por meio do controle "OHMS CALIBRATE" (CALIBRAÇÃO DO OHMÍMETRO), a sensibilidade do amplificador é ajustada para que esta queda de tensão provoque a deflexão de plena escala do ponteiro.

Quando um resistor externo (por exemplo, de 10 ohms) for ligado em paralelo com o conjunto R24 a R28, por meio das pontas de prova, a resistência da associação será de 5 ohms; como a corrente no circuito é mantida constante em 7 mA, a queda de tensão sobre os 5 ohms cairá a $7 \times 5 = 35$ milivolts, precisamente o necessário para levar o ponteiro ao centro da escala. Neste ponto, então, teremos a indicação de 10 ohms.

Para as demais posições da chave seletora de alcance do ohmímetro ("OHMS RANGE"), são inseridos outros resistores em série com a fonte de corrente de 7 mA e o cursor da chave. Entretanto, na ausência de resistores externos, ligados às pontas de prova, não haverá corrente nestes resistores, e o ponteiro permanecerá indicando "∞" no fundo da escala, em todas as faixas.

Se, por exemplo, a chave estiver na posição "R × 1 MΩ", todos os resistores, de R29 a R40, ficarão em série com a fonte de 7 mA e o cursor da chave, totalizando 10 MΩ. Se, agora, for ligada em série com as pontas de prova um resistor de 10 MΩ, teremos um divisor de corrente constituído pelos dois resistores de 10 MΩ (o que está sendo medido e a soma dos multiplicadores internos), sendo a tensão para o amplifica-

dor tomada no mesmo ponto anterior; evidentemente, a tensão aplicada a TR7 será de 35 mV, e o ponteiro indicará 10 MΩ precisamente no centro da escala.

Os resistores multiplicadores de faixa ficam ligados em série com o circuito a ser medido; desta forma, a tensão aplicada a um componente sob prova nunca ultrapassa 70 milivolts, sendo a maior corrente permissível de 7 miliampères. Estes valores baixos representam uma vantagem definida, quando se estiver provando semicondutores, porque protegem eficientemente as frágeis junções destes elementos. Apresentam, entretanto, uma desvantagem: não é possível verificar a relação entre as resistências direta e inversa de uma junção, como se faz normalmente com os multímetros para uma prova rápida.

O amplificador

Esta é a parte mais crítica do multímetro de estado sólido; os circuitos de entrada se encarregam de transformar a grandeza a ser medida — seja ela tensão, corrente ou resistência, numa *tensão* a ser aplicada à entrada do transistor TR7, que por sua vez excita o amplificador de saída onde está ligado o galvanômetro.

TR7 é um transistor de efeito de campo (T.E.C.), proporcionando uma impedância de entrada muito alta para os circuitos de atenuação e comutação. A alimentação do supridouro deste transistor é feita por uma fonte de corrente constante, constituída pelo transistor TR12.

As características elétricas dos T.E.C. — como, de resto, ocorre com os transistores comuns — variam enormemente de uma unidade para outra. Esta é a razão da existência de uma rede de resistores ajustáveis, constituída por R44, R45, R46 e R47; estes resistores permitem que o circuito seja ajustado para funcionar corretamente com qualquer transistor do tipo indicado. R44 e R46, conjugados, constituem o controle de *polarização,* fixando a tensão que polariza a porta de TR7. R45 serve para ajustar o zero do instrumento, estabelecendo uma tensão de aproximadamente 4,9 volts na base de TR8: o posicionamento do cursor de R45 permite colocar o ponteiro no zero à esquerda da escala ou então no centro da mesma, para a medição de tensões que podem ser tanto positivas quanto negativas.

TR5 e TR6, bem como o resistor R42, proporcionam proteção para o circuito do amplificador, quando ocorrer algu-

ma sobrecarga: graças à sua ação, a maior tensão aplicada à porta de TR7 é de aproximadamente 600 milivolts, sendo o excesso absorvido por R42. Como o transistor TR7 é alimentado por uma fonte de corrente constante, devido ao transistor TR12, as variações de tensão presentes na porta de TR7 passam para a base do transistor TR8.

Este último transistor constitui, em conjunto com TR11, um amplificador diferencial. A base de TR11 é polarizada com aproximadamente 4,9 volts pelos resistores R22 e R23. Para manter em equilíbrio o amplificador diferencial é necessário que a tensão na base de TR8 seja também de 4,9 volts, com o que o ponteiro permanecerá em repouso. Este ajuste é feito, como já foi dito, por intermédio do controle R45 e dos resistores conjugados R44 e R46.

A corrente no amplificador diferencial é estabelecida pelo transistor TR13, que funciona como uma fonte de corrente constante, da maneira descrita a seguir: TR14 e TR15 estão ligados como diodos, em série, formando com R48 um divisor de tensão. O potencial na base de TR13 é determinado pela queda de tensão sobre TR14 e TR15, causada pela corrente que passa por R48; esta queda de tensão é aproximadamente igual a 1,2 volt. Com esta tensão na base de TR13, a tensão no emissor do mesmo transistor será aproximadamente igual a 0,6 volt, independentemente do valor do resistor R49, que determinará então a corrente que passa por TR13. Se R49 tiver 1.500 Ω, a corrente em TR13 — e, portanto, no amplificador diferencial TR8 e TR11 — será aproximadamente igual a 400 μA.

TR8 e TR11 têm as bases polarizadas com 4,9 volts; por isso, a corrente de 200 μA, entre coletor e emissor de cada um destes transistores, produzirá tensões iguais a 7 volts nos coletores.

Se a tensão na porta de TR7 se tornar mais positiva, o mesmo acontecerá na base de TR8. Com isto, a tensão de coletor deste cairá, ao passo que a tensão de emissor subirá. A ação de seguidor de emissor transferirá este acréscimo de tensão, através de R50 e R51, ao emissor de TR11. Como o potencial de base de TR11 se mantém constante em 4,9 volts, o acréscimo experimentado pela tensão de emissor tem o mesmo efeito, sobre o coletor, de uma redução na tensão de base, ou seja, a tensão de coletor cai, com o que é destruído o equilíbrio entre as tensões de coletor de TR8 e TR11. A diferença de potencial resultante é aplicada diretamente às bases dos transistores de saída, TR9 e TR10.

O circuito de saída

Para trabalhar com tensões e correntes contínuas, o medidor é ligado diretamente aos emissores de TR9 e TR10, que estão dispostos na configuração seguidor de emissor. Estando as bases destes transistores acoplados diretamente aos coletores de TR8 e TR11, qualquer variação na tensão de coletor destes últimos será imediatamente transferida aos terminais do medidor. Desta maneira, quando for aplicada uma tensão positiva à entrada do amplificador, a tensão de emissor de TR9 diminuirá, ao passo que a de TR10 aumentará. O medidor, ligado entre os dois emissores, indicará então a tensão aplicada ao voltímetro. O valor exato de tensão necessário para a deflexão de plena escala é ajustado por intermédio de R18.

Se a tensão aplicada ao voltímetro for alternada, a diferença de potencial entre os emissores também o será; portanto, ela deverá ser retificada, antes que o medidor possa medi-la. Disto se encarrega a ponte retificadora, constituída pelos diodos D1 a D4. O ajuste de R17 permite que o instrumento seja calibrado nas faixas de C.A.

Quando o instrumento funciona como ohmímetro, a tensão aplicada a TR7 é contínua; neste caso, o funcionamento do circuito de saída é análogo ao descrito para o voltímetro C.C., sendo a calibração proporcionada pelo ajuste de R20.

Fonte de alimentação

Existem duas fontes de alimentação independentes; uma chave seletora no painel escolhe a que está em funcionamento. A que utiliza a rede de alimentação compreende um transformador com primário duplo (para 110 e 220 volts), um retificador de meia onda e um filtro. A outra retira sua energia de um conjunto de pilhas de lanterna, de 1,5 V. O circuito regulador, que emprega dois diodos zener para estabilizar a tensão de saída em 9 V, é comum às duas fontes.

Relação entre valores eficazes e de crista

A maioria dos instrumentos capazes de medir tensões ou correntes alternadas possui a escala calibrada para indicar o *valor eficaz* de uma *tensão ou corrente senoidal.* O valor eficaz é às vezes chamado de "rms" (das iniciais de "root mean square", expressão que significa "valor médio quadrático"). Por esta razão, torna-se importante conhecer a rela-

ção entre os valores médio, eficaz, de crista e de crista-a-crista de uma tensão ou corrente senoidal.

A relação entre o *valor eficaz* e o *valor médio* é conhecida como *fator de forma;* para a onda senoidal de que tratamos acima, o fator de forma vale

$$F_f = \frac{0,707}{0,637} = 1,11$$

As fórmulas da Fig. 2-24 permitem converter qualquer dos valores mencionados em outro, desde que se trate de ondas senoidais. Os índices empregados significam:

V_m = valor médio (de meio ciclo)

V_{ef} = valor eficaz

V_c = valor de crista

V_{cc} = valor de crista-a-crista

Resposta dos instrumentos a C.A.

O fato de um instrumento ter suas escalas de C.A. calibradas em valores eficazes não significa necessariamente que o medidor utilizado responda diretamente a esta grandeza.

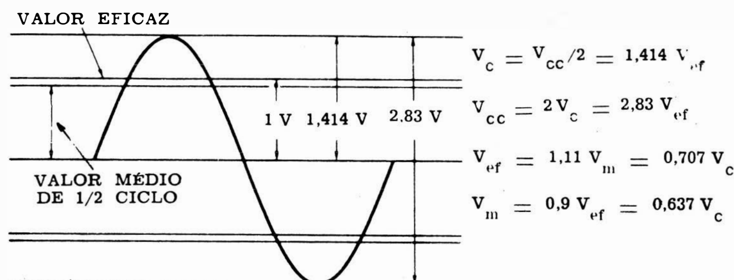


Fig. 2-24 — Relação entre os valores de crista, médio, eficaz e crista-a-crista de uma tensão ou corrente senoidal.

Os dinamômetros, bem como os medidores de ferro móvel e os eletrostáticos, apresentam um deslocamento do ponteiro proporcional *ao quadrado da corrente* (ou da tensão, no caso dos eletrostáticos), e por essa razão suas escalas precisam ser invariavelmente calibradas para indicar valores eficazes.

Evidentemente, a indicação fornecida pelo ponteiro será sempre correta, quer se trate de sinais senoidais ou não, desde que não seja excedido o limite superior da resposta de freqüência do instrumento considerado.

O medidor de bobina móvel, ou d'Arsonval, entretanto, que é de longe o mais utilizado em instrumentos múltiplos, responde ao *valor médio* da corrente que passa por sua bobina. Apesar disto, as escalas destes instrumentos normalmente já vêm calibradas para indicar o valor eficaz correspondente, *desde que a corrente seja senoidal.* Vejamos um exemplo: temos uma tensão de 1 volt de crista, que deve ser medida por um medidor de bobina móvel. Se a tensão passar por um retificador de meia onda, teremos na saída uma tensão de 318 mV (valor médio); se o retificador for de onda completa, o valor médio da tensão de saída será igual a 636 mV. Com retificação de meia onda, a saída cai à metade porque um dos semiciclos é completamente eliminado.

Suponhamos que o retificador usado seja o de onda completa: se o instrumento tiver uma escala calibrada para medir tensões contínuas, o ponteiro nela indicará 636 mV. Entretanto, o *valor eficaz* da tensão que estamos medindo é da ordem de 10% maior — no caso, 707 mV — e normalmente a escala gravada no mostrador para medida de C.A. indicará este valor, e não o realmente existente.

A conclusão importante a tirar do que foi dito é que a leitura dos instrumentos comuns que utilizem medidores de bobina móvel, nas escalas de C.A., só será correta se o sinal for *senoidal,* caso em que o ponteiro indicará o *valor eficaz* desta tensão.

Medição de potência

O instrumento normalmente empregado para a medição de potência é um wattímetro, que utiliza um medidor do tipo *dinamômetro.* A bobina fixa é ligada em paralelo com a linha, sendo assim percorrida por uma corrente proporcional à tensão existente, enquanto a bobina móvel é ligada em série com a carga, sendo percorrida pela corrente desta.

Na Fig. 2-25, temos o circuito de um instrumento constituído por um wattímetro para C.A./C.C. (M2) e por um voltímetro para C.A./C.C. (M1), combinados em uma única unidade. O equipamento cujo consumo se deseja medir é ligado à tomada, sendo o plugue conectado à linha de alimentação. A chave CH2 seleciona o alcance do wattímetro (1.500 ou 3.000

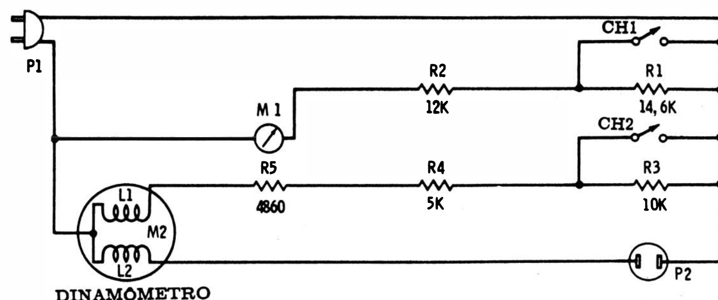


Fig. 2-25 — Medição do consumo de potência.

watts), ao passo que CH1 faz o mesmo com o voltímetro (130 ou 260 volts).

O voltímetro é constituído por um medidor de ferro móvel, do tipo de repulsão, e pelos multiplicadores R1 e R2. Com a chave CH1 aberta, o instrumento mede até 260 volts, e com ela fechada até 130 volts.

O wattímetro, como dissemos, utiliza um dinamômetro. A bobina fixa, L1, é ligada, através dos multiplicadores R3, R4 e R5, à rede de alimentação, sendo a corrente que a percorre proporcional à tensão da rede. A bobina móvel, L2, fica em série com o equipamento ligado à tomada. A deflexão do ponteiro será, portanto, proporcional tanto à tensão da linha quanto à corrente na carga, isto é, o instrumento dará uma indicação relativa da *potência* consumida.

Este instrumento pode ser considerado como para serviço médio: suas especificações dizem que pode manejar 10 ampères em regime contínuo e 20 ampères (5 minutos) ou 40 ampères (5 segundos) em regime intermitente. A precisão do voltímetro é de 2%, sendo a do wattímetro de 2% em 60 Hz e 4% em C.C. ou 133 Hz.

A maior utilidade de um aparelho deste tipo consiste em indicar rapidamente qual a tensão real aplicada a um equipamento qualquer e a potência absorvida pelo mesmo. Freqüentemente, esta última informação é das mais valiosas para apontar o caminho a seguir em um trabalho de reparação.

QUESTIONARIO

2- 1 — Um medidor de 1 mA (plena escala) tem uma bobina móvel com 100 ohms. Calcular o multiplicador necessário para convertê-lo num amperímetro de 10 mA (plena escala).

2- 2 — Enumere os dois tipos básicos de ohmímetros.

2- 3 — Qual deles é usado para a medição de resistências baixas?

2- 4 — Que circuito deve ser acrescentado a um medidor d'Arsonval, para permitir-lhe medir tensões alternadas?

2- 5 — Por que razão os multímetros comuns não dispõem de recursos para a medição de correntes alternadas?

2- 6 — Admita que você está usando um voltímetro de 0 a 150 volts, e que o ponteiro indica 100 volts. Se a precisão do instrumento é de 3%, entre que limites estará o valor real da tensão?

2- 7 — Descreva uma situação em que você utilizaria a posição "— DC" de um multímetro.

2- 8 — Admita que você está medindo uma resistência com um ohmímetro na escala de R × 100. Se o ponteiro indica 20, qual é o valor da resistência?

2- 9 — Explique a finalidade do controle de "ajuste de zero do ohmímetro", em um multímetro.

2-10 — Explique o significado da expressão "efeito de carga", quando relacionada à sensibilidade de um multímetro.

2-11 — Qual é o acessório empregado com o multímetro ou V.A.V. para a medição de tensões de freqüências maiores do que admite a resposta de freqüência do instrumento?

2-12 — Cite duas vantagens do V.A.V., em relação ao multímetro.

2-13 — Em alguns instrumentos, a chave seletora de função tem uma posição "desligado", que coloca em curto os terminais do medidor. Explique a finalidade deste circuito.

2-14 — Por que razão a maioria dos V.A.V. não mede corrente?

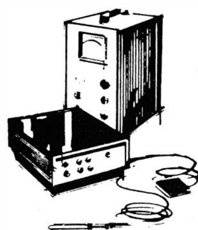
2-15 — Quando se deseja medir tensões muito maiores do que o limite usual dos multímetros e V.A.V., qual é o acessório empregado?

2-16 — Enumere duas vantagens dos multímetros de estado sólido, em relação aos voltímetros a válvula.

2-17 — Qual o tipo de transistor normalmente empregado nos multímetros transistorizados?

2-18 — Calcule o valor de crista de uma tensão de 100 volts eficazes.

2-19 — Qual o valor de crista-a-crista da tensão citada no item anterior?



3 provadores de baterias, de válvulas e de semicondutores

A progressiva transistorização dos aparelhos eletrônicos levou à utilização, em escala cada vez maior, das pequenas e leves baterias de pilhas, sejam elas secas ou úmidas, recarregáveis ou não. São empregadas em receptores de rádio, televisores, gravadores de fita, transceptores, amplificadores de áudio, aeromodelos, sistemas de alarma, brinquedos elétricos e eletrônicos, e uma infindável série de outros dispositivos.

PROVANDO UMA BATERIA

A melhor maneira de provar uma bateria é medir sua tensão sob carga. Se ela cair mais de 25% abaixo do seu valor nominal, a bateria é considerada descarregada. Se ela for do tipo não recarregável, será simplesmente jogada fora e substituída por uma nova unidade; as do tipo recarregável devem receber carga segundo as instruções do fabricante, com o emprego de um eliminador-carregador de baterias ou de um circuito recomendado pelo fabricante. Em qualquer caso, convém certificar-se de que o regime de carga correto está sendo obedecido, para evitar danos à bateria.

Um provador tipico

O provador de baterias mostrado na Fig. 3-1 foi projetado para verificar rapidamente o estado das baterias usadas em pequenos receptores portáteis e outros aparelhos semelhantes. A graduação da escala fornece não só a indicação "BOA-RAZOAVEL-MA", como também a tensão real forne-

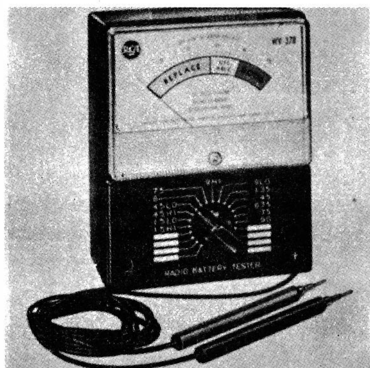


Fig. 3-1 — Um provador de baterias.

cida sob carga, em termos de percentagem da tensão nominal. Para que a bateria seja provada, deve ser removida do equipamento. Em cada posição da chave seletora do instrumento, a bateria sob prova é submetida a uma carga adequada, proporcionada por um resistor de valor conveniente; existem, além disto, posições vagas na chave, permitindo futuramente o teste de novas baterias que venham a ser produzidas. Para as atualmente existentes no mercado, o fabricante fornece um manual de operações especificando a posição correta da chave seletora.

O circuito deste provador é extremamente simples: para cada posição da chave, são escolhidos um resistor em série e outro em paralelo, de modo a fornecer a carga correta à bateria e o multiplicador adequado ao medidor, cuja corrente de plena escala é de 1,1 mA. O instrumento pode provar baterias até 250 volts, com cargas até 500 mA.

Um eliminador de baterias

O aparelho chamado de *eliminador de baterias* serve para verificar o funcionamento de qualquer equipamento alimentado por baterias: se houver qualquer dúvida sobre a causa do mau funcionamento do aparelho, bastará substituir as baterias pelo eliminador; ajustando-se sua saída para a tensão nominal da bateria, observa-se agora o funcionamento. Se este voltar ao normal, as baterias originais devem ser substituídas ou recarregadas, conforme o caso.

Os eliminadores de baterias são dispositivos alimentados pela rede, e consistem normalmente em um retificador, um filtro e um potenciômetro que permite ajustar a tensão de saída ao valor adequado.

A Fig. 3-2 ilustra um circuito típico, destinado a substituir as baterias de equipamentos de baixo consumo. A tensão de saída pode ser variada entre 0 e 15 volts; o filtro em pi, constituído por R1, C1 e C2, reduz o zumbido a um nível inferior a 0,5% da saída, e a impedância interna da fonte é menor do que 2 ohms. Devido a esta baixa impedância inter-

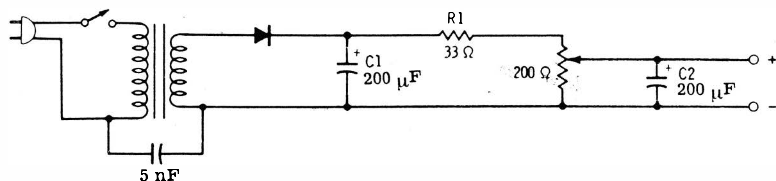


Fig. 3-2 — Diagrama esquemático de um eliminador de baterias.

na, muitos receptores portáteis funcionarão melhor com este eliminador do que com pilhas secas, mesmo com tensão inferior à nominal; a elevada resistência interna das pilhas parcialmente esgotadas provoca severa distorção.

Um eliminador-carregador de baterias

A unidade mostrada na Fig. 3-3 foi projetada para serviço consideravelmente mais pesado do que a anterior; ela dispõe de duas faixas de tensão de saída, continuamente variáveis de 0 a 8 volts e de 0 a 16 volts, e pode fornecer até 10 ampères em regime contínuo (ou 20 ampères intermitentemente) na faixa de 0 a 8 volts, sendo estes regimes reduzidos à metade para a faixa de 0 a 16 volts. Como se vê, o aparelho é perfeitamente indicado para a carga de baterias de automóvel de 6 a 12 volts. Como eliminador de baterias, pode ser usado para alimentar transmissores móveis, equipamentos de laboratório, etc., além de permitir substituir a bateria do veículo durante consertos nos sistemas de ignição e iluminação.

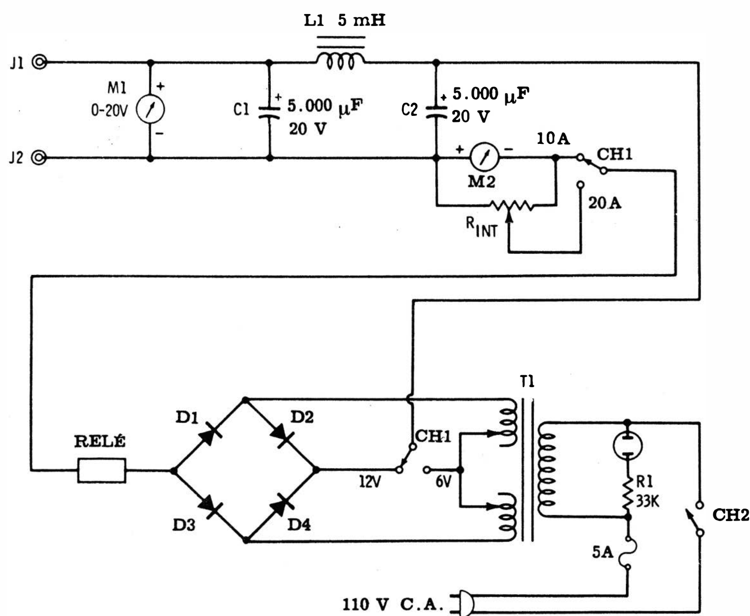
A descrição que se segue é referente ao diagrama esquemático, apresentado na Fig. 3-3B.

A fonte primária de alimentação é a rede de distribuição de 110 volts, sendo o consumo de 150 watts. O transformador T1 tem dois enrolamentos secundários, com uma tomada continuamente variável em cada um: a posição desta tomada é controlada pelo botão "TENSÃO" do painel.

Quando CH1A é comutada para a posição "6 volts", os diodos D1 e D3 constituem um retificador de onda completa,



A) Aspecto externo.



B) Diagrama esquemático.

Fig. 3-3 — Eliminador-carregador de baterias da EICO, modelo 1064.

em conjunto com os dois secundários. Na posição "12 volts" da chave, os dois enrolamentos são ligados em série, e os outros dois diodos são acrescentados para formar uma ponte. A mesma chave CH1 (CH1B) se encarrega de escolher a faixa adequada para o amperímetro. Note-se que com CH1 na posição "6 volts", a tensão máxima de saída é de 8 volts, enquanto que para a posição "12 volts" de CH1 a tensão de saída pode atingir até 16 volts.

O circuito dispõe ainda de um voltímetro e um amperímetro, que permitem o controle simultâneo da tensão e da corrente fornecidas, além de um disjuntor térmico que abre o circuito quando a corrente ultrapassa 20 ampères, rearmando-se automaticamente quando a sobrecarga for removida. Finalmente, existe um fusível de 5 A no primário do transformador.

Quando êste eliminador for utilizado para substituir uma bateria de 6 ou 12 volts, deve-se adotar o seguinte procedimento: com o eliminador e o aparelho a ser alimentado desligados, efetuar as conexões necessárias, observando a polaridade dos terminais; a seguir, levar o botão "TENSÃO" à posição extrema, no sentido contrário aos ponteiros do relógio, o que significa que a tensão de saída será nula, e ligar o eliminador. Deve-se então girar lentamente este botão para a direita, até que o voltímetro no painel indique 6 (ou 12) volts. Finalmente, ligar o equipamento, reajustando o controle de tensão para que a saída permaneça em 6 (ou 12) volts.

PROVADORES DE VALVULAS

As válvulas a vácuo são extensamente utilizadas em um sem-número de equipamentos eletrônicos; por esta razão, é importante para quem trabalha em Eletrônica conhecer intimamente as características principais das válvulas, os defeitos mais comuns que elas apresentam e as técnicas e equipamentos disponíveis para prová-las.

As falhas apresentadas pelas válvulas têm uma ou mais causas principais, entre as quais se incluem:

1 — Filamento aberto (queimado).

2 — Curto-circuito interno, ou ligações desfeitas, provocadas por choques mecânicos.

3 — Vedação defeituosa, permitindo a entrada de ar no bulbo.

4 — Perda de emissão, devida ao envelhecimento do catodo.

5 — Fuga entre catodo e filamento (nas de aquecimento indireto).

6 — Desempenho insatisfatório em aplicações demasiadamente críticas.

7 — Arco ou centelha entre os elementos internos.

8 — Presença de gás dentro do bulbo.

Dependendo do provador de válvulas utilizado, é possível estimar, com razoável grau de precisão, as condições de uma válvula, no que respeita à sua emissão, transcondutância, fuga, gás, ruído, etc. A vida média de uma válvula fica por volta de 3.000 horas, embora alguns tipos recentemente desenvolvidos possam durar mais, e aquelas que funcionam em circuitos que lhes impõem um esforço muito severo possam durar muito menos.

As estatísticas mostram que a maioria das falhas em válvulas ocorre durante as primeiras 50 horas de funcionamento; assim, se uma válvula funcionar corretamente durante 50 horas, é muito provável que continue assim por toda a sua vida útil. Por esta razão, as válvulas que se destinam a aplicações especiais, onde se exige uma elevada confiabilidade, são *pré-envelhecidas*, permitindo que sejam descartadas as que apresentarem falhas.

A prova de válvulas

Os entendidos geralmente concordam em que o melhor teste para uma válvula consiste na sua substituição por uma reconhecidamente boa. Se o equipamento funcionar com esta última, mas não o fizer com a válvula suspeita, admite-se que esta está em mau estado. Este método é realmente eficiente, mas nem sempre é prático: muitas vezes, por exemplo, não existe uma válvula substituta à mão. Além disto, não existe um processo absolutamente seguro para indicar se a válvula "boa" está realmente em boas condições: ela poderia ter o mesmo defeito da que é suspeita, ou mesmo um defeito diferente.

Por isso, o uso de um bom provador de válvulas é muitas vezes a melhor maneira de determinar se uma determinada válvula está em bom ou mau estado. Existem diversos tipos de provadores de válvulas: normalmente, quanto mais

caro custar um determinado provador, mais confiável será a indicação que ele pode fornecer.

Tipos de provadores de válvulas

Os principais tipos de provadores de válvulas são: o que prova apenas a continuidade do filamento, o provador de emissão, e o que verifica a condutância mútua (ou transcondutância) da válvula.

O provador de continuidade, evidentemente, é o mais simples e o mais barato, sendo também o mais fácil de usar. Ele se limita a indicar se o filamento da válvula está ou não aberto.

O provador de emissão, como o diz seu próprio nome, fornece uma informação sobre o estado do catodo e sua capacidade para emitir eléctrons.

Já o provador de transcondutância verifica as condições de uma válvula em circunstâncias muito parecidas com as condições reais de utilização da maioria dos circuitos eletrônicos.

Outros aspectos importantes também podem ser verificados: a existência de fuga entre os elementos, curtos-circuitos internos, a presença de gás, etc.

Um provador de filamentos

Este tipo de provador, apesar de sua simplicidade, presta inestimáveis serviços ao técnico para a determinação da válvula que é responsável pela interrupção de uma cadeia de filamentos ligados em série, pois, neste caso, a queima de uma unidade provocará o apagamento de todas as outras, ao contrário da ligação em paralelo, quando a simples inspeção visual indicaria qual a válvula apagada.

Estes provadores são geralmente de pequeno tamanho, e têm um soquete de cada tipo em seu painel: a Fig. 3-4 mostra o aspecto externo de uma destas unidades. Para provar o filamento de uma válvula, basta encaixá-la no soquete adequado: se a lâmpada néon acender, isto é sinal de que o filamento está em bom estado. Evidentemente, este provador não tem condições para avaliar nenhuma das outras características das válvulas.

Uma palavra de alerta: embora não seja um defeito comum, algumas válvulas às vezes apresentam o filamento em

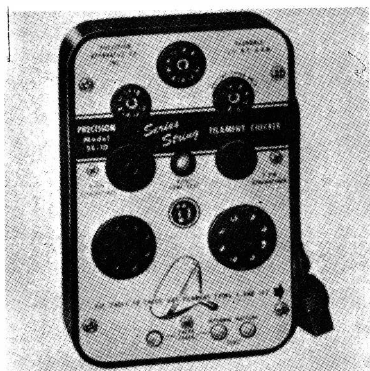


Fig. 3-4 — Provador de filamentos da PRECISION, modelo SS-10.

curto-circuito, e um defeito deste tipo não seria indicado por este teste.

O provador de emissão

Embora o filamento esteja em bom estado, uma válvula pode deixar de funcionar por estar "fraca", isto é, com o catodo esgotado. A Fig. 3-5 apresenta o diagrama básico de um provador capaz de apontar esta condição: o mostrador do instrumento (assinalado com "M" no diagrama esquemático) geralmente está marcado com três faixas que dizem "BOA", "DUVIDOSA" e "MÁ" (nos instrumentos de origem americana, "GOOD" "DOUBTFUL" e "BAD"). Freqüentemente, são eles dotados de recursos para provar também a existência de curtos-circuitos entre os elementos ou fugas internas. Em alguns casos, podem também acusar válvulas "ruidosas", que se tornam inúteis para emprego em estágios de baixo nível.

No painel, deve existir ao menos um soquete para cada tipo de válvula que possa ser provado: miniaturas, novais, octais, loctais, etc. O manual de operação fornecido pelo fabricante indica em que posição devem ser colocadas as chaves, para cada tipo de válvula, de modo a proporcionar as ligações e tensões corretas; deverá haver, por exemplo, uma chave para selecionar a tensão correta de filamento, outras para efetuar a ligação do catodo, placa, etc. aos pinos correspondentes do soquete.

Para efetuar o teste, é necessário, depois de comutar as chaves para as posições indicadas, colocar a válvula no soquete e aguardar cerca de um minuto para o aquecimento.

Depois disto, normalmente é necessário pressionar um botão de teste, para que o medidor indique o estado da válvula. Posteriormente, podem ser feitos os demais testes, tais como fuga, curtos, etc.

Como se vê na Fig. 3-5, os enrolamentos secundários do transformador T1 fornecem as tensões de filamento e placa; observe que neste provador, como, de resto, na grande maioria deles, as grades todas são ligadas à placa, para o teste de emissão. O medidor M, em série com o circuito de placa,

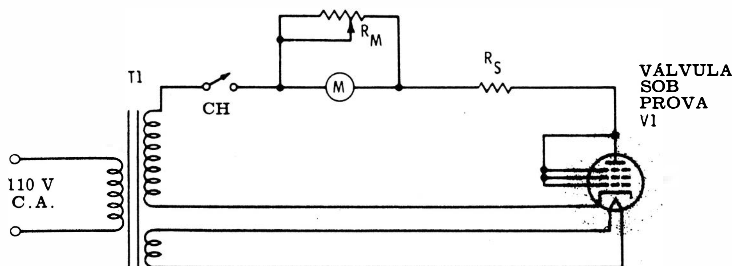


Fig. 3-5 — Circuito básico de um provador de emissão.

indicará se a corrente está dentro de limites aceitáveis, sendo o derivador R_m, em paralelo com o medidor, calculado para cada tipo particular de válvula. O resistor R_s serve para proteger o provador, no caso de um curto-circuito na válvula ou colocação incorreta das chaves seletoras. Em alguns provadores, é utilizada tensão contínua para alimentar a placa, em lugar da tensão alternada deste modelo. A Fig. 3-6 apresenta o aspecto externo de um provador de emissão.

Embora estes provadores forneçam indicações mais extensas do que o simples provador de continuidade dos filamentos, muito provavelmente as condições em que é feita a verificação ainda não serão aquelas sob as quais a válvula vai realmente operar; por isso, foram desenvolvidos os provadores de transcondutância, que serão descritos a seguir, e que deixam de apontar apenas uma parcela ínfima das válvulas defeituosas.

Antes de descrevermos o funcionamento de tais provadores, é necessário frisar que os fabricantes, hoje em dia, têm aperfeiçoado cada vez mais os seus produtos, oferecendo à venda instrumentos em que a multiplicidade de chaves seletoras, com toda a complicação trazida para seu correto posicionamento, foi substituída por um aumento dos soquetes no

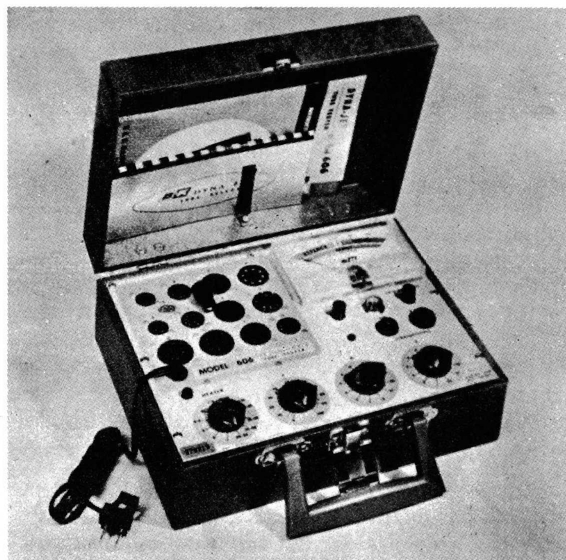


Fig. 3-6 — Provador de válvulas B&K Dyno-Jet, modelo 606.

painel frontal; assim, existem diversos soquetes idênticos, mas cada um deles se destina a receber válvulas de um determinado grupo. Perto de cada soquete existe um número, e sob este número, no manual de operação, constam todas as válvulas que devem ser provadas neste soquete específico. Desta maneira, a operação do provador se resume à seleção do soquete adequado e à escolha da tensão de filamento, mediante a comutação de uma única chave.

Deve-se mencionar, ainda, que muitos provadores de válvulas têm também condições para verificar diodos de estado sólido e transistores. Entretanto, a indicação que tais provadores fornecem é, via de regra, muito sumária, limitando-se a apontar elementos completamente inutilizados, muito embora alguns provadores existam que reúnem todas as facilidades dos melhores aparelhos do gênero. A prova de semicondutores será abordada mais tarde, neste livro.

Os provadores de transcondutância

O teste mais significativo a que pode ser submetida uma válvula é o de transcondutância, ou condutância mútua. Esta

grandeza está relacionada com o fator de amplificação μ (lê-se mu) e com a resistência dinâmica de placa r_p pela expressão

$$g_m = \mu \,/\, r_p$$

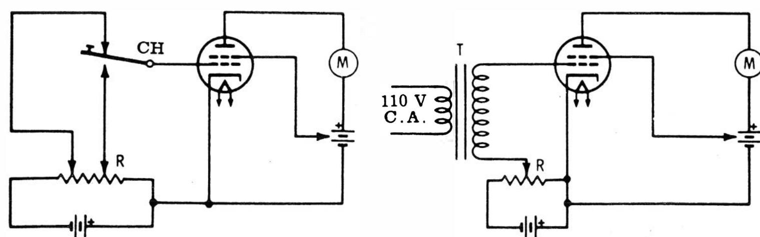
onde g_m representa a transcondutância. Outra maneira de defini-la consiste em usar a fórmula

$$g_m = \frac{\triangle i_p}{\triangle e_g} \quad (E_p = \text{constante})$$

onde $\triangle i_p$ representa uma pequena variação na corrente de placa, e $\triangle e_g$ a diminuta variação da tensão de grade que provocou a variação da corrente. A tensão de placa E_p deve permanecer constante, como está especificado entre parênteses.

Atualmente, a unidade em que é medida a transcondutância é o Siemens, que se abrevia com a letra *S*. Entretanto, quase toda a literatura existente adota ainda a antiga unidade *mho,* ou um de seus sub-múltiplos (como, por exemplo, o micromho, que é igual a um milionésimo da unidade original).

Existem dois processos básicos para a medida da transcondutância: o estático e o dinâmico. Os circuitos utilizados em qualquer um dos casos estão ilustrados na Fig. 3-7. O método estático, ilustrado na Fig. 3-7A, consiste em aplicar as tensões adequadas a todos os eletrodos da válvula, observando a leitura do medidor M; quando o botão da chave CH1 for acionado, a grade será ligada a uma tensão de polarização



A) Estático. *B) Dinâmico.*

Fig. 3-7 — Circuitos básicos dos provadores de transcondutância.

menos negativa, e o acréscimo na corrente de placa anotado. A transcondutância é igual ao quociente da diferença entre as duas leituras da corrente de placa e a diferença entre as duas tensões de grade. Se, por exemplo, a tensão de grade for alterada de $-1{,}5$ V para -1 V, e a corrente de placa aumentar de 10 para 12 mA, teremos

$$g_m = \frac{0{,}012 - 0{,}010}{1{,}5 - 1} = \frac{0{,}002}{0{,}5} = 4.000\,\mu S$$

Por outro lado, no circuito básico para a prova dinâmica da Fig. 3-7B, a válvula é submetida a condições muito mais próximas daquelas em que será realmente empregada. A variação na tensão de grade, em lugar de ser produzida por um deslocamento do nível de polarização, é obtida por meio de uma tensão alternada, aplicada à grade sobreposta à tensão negativa de polarização. Como, agora, estão sendo usadas tensões e correntes alternadas, basta dividir a componente alternada da corrente de placa pela tensão alternada aplicada à grade para obter a transcondutância. O instrumento utilizado para indicar a corrente de placa normalmente é um medidor do tipo d'Arsonval, provido de um retificador e um capacitor em série para bloquear a componente contínua.

A Fig. 3-8 ilustra um provador de transcondutância que utiliza o método dinâmico, sendo equipado com soquetes para válvulas novais, nuvistores, compactrons e outros tipos de procedência européia. Este instrumento tem condições para efetuar ainda o teste de emissão, bem como verificar outros

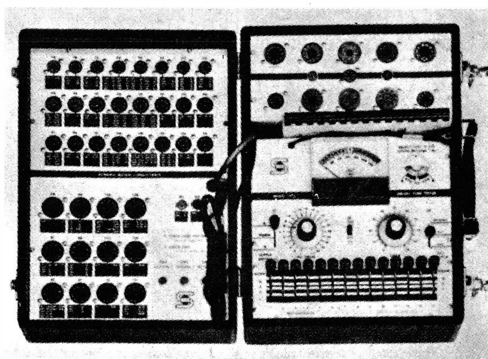


Fig. 3-8 — Provador dinâmico de transcondutância, SECO modelo 107-C.

aspectos de uma válvula, tais como emissão de grade, fuga entre elementos, curtos-circuitos, etc. O indicador usado para alguns destes testes é um olho mágico, localizado à direita do medidor. A vantagem da utilização de um olho mágico em substituição à lâmpada néon normalmente empregada consiste na possibilidade de fornecer uma indicação quantitativa, em lugar da mera estimativa fornecida pela lâmpada. O manual de instruções deste provador traz indicações para o teste de qualquer tipo de válvula atualmente existente.

O modelo de provador apresentado na Fig. 3-9 é também do tipo dinâmico, mas apresenta a vantagem de permitir uma verificação rápida de diodos semicondutores e transistores. Este provador tem ainda a característica de fornecer indicações quase instantâneas: três botões permitem provar, rapidamente, a transcondutância, a existência de gás, o estado do filamento e a emissão de grade. Um conjunto de cinco lâmpadas néon indica automaticamente a existência de curtos ou fuga entre elementos.

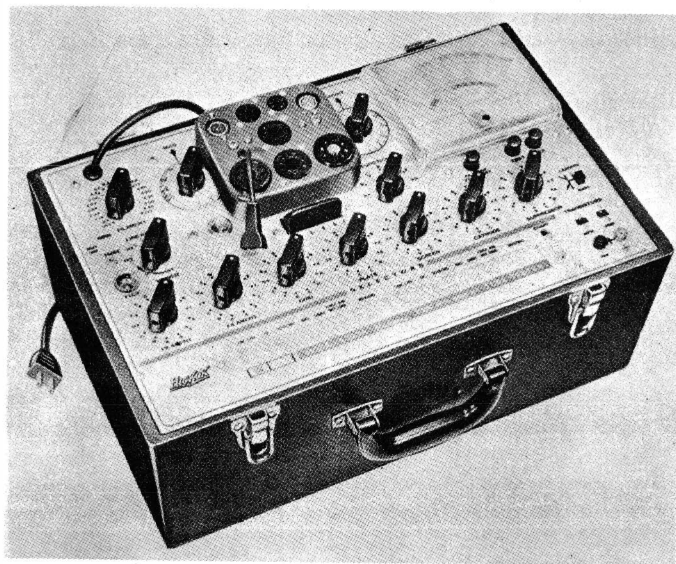


Fig. 3-9 — Provador de válvulas portátil, HICKOK modelo 6000-A.

O provador da Fig. 3-10 utiliza um cartão perfurado para "programar" o instrumento para a verificação de um deter-

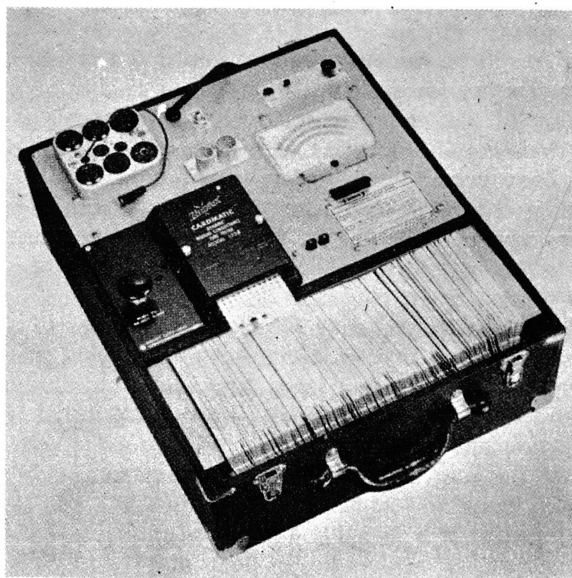


Fig. 3-10 — Provador HICKOK modelo 123-R, que utiliza cartões perfurados.

minado tipo de válvula: com isto, o tempo necessário para a prova de uma válvula é drasticamente reduzido.

Freqüentemente, as lojas de material eletrônico que vendem válvulas, instalam, em lugar acessível aos clientes, um provador de confiança, para permitir não só a verificação imediata das unidades recentemente vendidas, como também a necessidade ou não de substituição para as unidades suspeitas.

PROVADORES DE TRANSISTORES E DIODOS

A designação "diodo de estado sólido" inclui os retificadores ditos "metálicos", que são os de selênio e óxido de cobre, os diodos de contato pontual e os diodos de junção. Os diodos de contato pontual, desenvolvidos há mais tempo, consistem de um cristal de galena com um "bigode de gato" para fazer contato com os pontos de retificação. Atualmente, o cristal de galena foi abandonado em favor do germânio ou do silício, materiais de que são também feitos os diodos de junção.

Verificação dos diodos

Os diodos de óxido de cobre são ainda utilizados, especialmente em instrumentos de medida. Normalmente, a relação entre a resistência direta e inversa é de 10 para 1, o que significa que, se ligarmos um ohmímetro aos terminais do retificador, anotarmos a leitura e depois fizermos o mesmo com as pontas de prova invertidas, uma das leituras será dez vezes maior do que a outra. Se, por exemplo, um diodo indicar 500 ohms no sentido direto, a leitura no sentido inverso deverá ser de aproximadamente 5 kΩ.

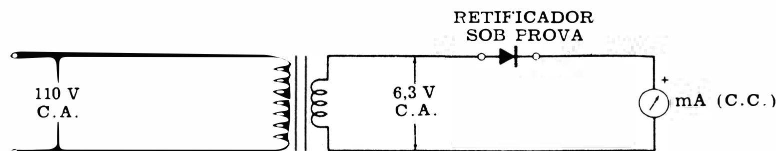
Os retificadores de selênio, ainda utilizados em larga escala em receptores de rádio e televisão, podem ser provados com relativa facilidade com um ohmímetro comum. Estes componentes, exceto por uma pequena queda de tensão depois de 50 ou 100 horas de uso, são relativamente estáveis em suas características. Submetidos a excesso de tensão, corrente ou calor, podem danificar-se, entrando em curto ou alterando significativamente a resistência direta ou inversa. Quando se tornam imprestáveis, os retificadores de selênio geralmente podem ser detectados por inspeção visual, visto que apresentam uma descoloração acentuada em suas placas.

Com o ohmímetro, podemos encontrar uma leitura igual de resistência em ambas as direções, significando que o retificador está inutilizado; se, por outro lado, encontrarmos a resistência em um dos sentidos muito maior do que em outro, saberemos que o retificador está em boas condições. O circuito mostrado na Fig. 3-11 foi projetado para verificar retificadores de selênio: na Fig. 3-11A, vemos a medida da corrente em sentido direto, e na Fig. 3-11B a medida da corrente inversa. Para os retificadores de selênio, a relação entre as resistências direta e inversa é aproximadamente a mesma dos retificadores de óxido de cobre.

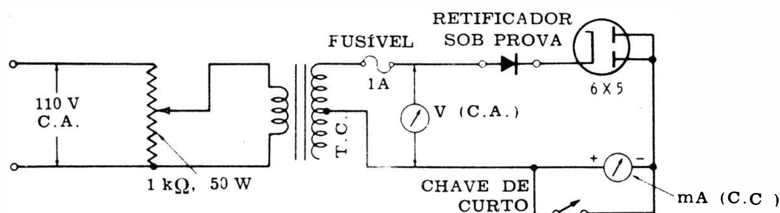
Hoje em dia, os diodos de silício estão substituindo quase completamente os de selênio ou óxido de cobre, devido à altíssima resistência inversa, baixíssima resistência direta, enorme capacidade de corrente e tamanho físico diminuto.

Precauções na prova de diodos

Os diodos de germânio e silício podem ser verificados por meio de um circuito semelhante ao da Fig. 3-11. Entretanto, dada a existência de uma grande variedade de componentes projetados para aplicações especiais, é necessário tomar cer-



A) Medição da corrente direta.



B) Medição da corrente inversa.

Fig. 3-11 — Circuitos usados para provar retificadores de selênio.

tas precauções antes de tentar provar um diodo até mesmo com um ohmímetro comum. E isto porque a especificação de máxima corrente do diodo nunca deve ser ultrapassada. Os diodos usados em microondas, por exemplo, seriam fatalmente danificados se ligados diretamente às pontas de prova de um ohmímetro comum.

Mesmo que o componente não seja prejudicado, a indicação do ohmímetro pode não constituir uma informação segura acerca do estado do diodo, pois alguns deles são projetados para apresentar uma resistência inversa baixíssima, quando a tensão aplicada exceder um determinado limite (por exemplo, os diodos zener), enquanto outros apresentam uma resistência direta que varia grandemente com a tensão aplicada (por exemplo, os diodos túnel).

Características dos transistores

As duas características mais importantes a serem medidas nos transistores são, provavelmente, a *fuga* e o *ganho de corrente*. Entre as outras características que podem ser medidas, estão o tempo de comutação, a resistência de entrada, a tensão de ruptura, a resistência de saída, a tensão de saturação e a freqüência de corte. Nem todas estas verificações são efetuadas pelos técnicos de manutenção de equipamentos transistorizados; elas são mais adequadas para laboratórios

ou para linhas de produção, para verificar quais os componentes que estão dentro de determinados limites.

Os transistores são muito mais críticos do que as válvulas, no que respeita às tensões e correntes de polarização, bem como à temperatura a que é feito o teste. O desempenho de um transistor depende enormemente das condições de operação, sendo perfeitamente possível que um componente em perfeitas condições não apresente os resultados previstos pelo fabricante, se a verificação for feita em condições ligeiramente diferentes. Normalmente, as especificações fornecidas são referentes a uma temperatura ambiente de 25ºC.

Exigências de um provador de transistores

Existe no comércio uma grande variedade de provadores, desde os tipos mais simples até os custosos instrumentos com cartões perfurados para "programar" os testes. Os mais baratos, normalmente operados a bateria, fornecem apenas indicações referentes a curtos, elementos abertos, fuga e ganho de corrente ou β (lê-se beta) estático. O ganho de corrente dinâmico, normalmente, é um refinamento nem sempre encontrado.

Já os instrumentos mais elaborados proporcionam recursos para a medição de I_{ceo} (corrente de coletor para emissor, estando a base desligada e a junção de coletor inversamente polarizada), I_{cbo} (corrente entre coletor e base, com a junção inversamente polarizada e o emissor aberto) e I_{ebo} (corrente entre emissor e base, com a junção inversamente polarizada e o coletor aberto).

Alguns provadores fornecem as indicações visuais por meio de um medidor, ao passo que outros empregam um olho mágico ou mesmo uma simples lâmpada néon. A maioria dos provadores verifica apenas as condições do transistor para pequenos sinais, sendo raros os que incluem a prova de funcionamento com grandes sinais.

Alguns instrumentos de preço mais elevado incluem alguns recursos que, sem serem indispensáveis para a verificação dos transistores propriamente ditos, facilitam o serviço de reparação de circuitos transistorizados, tais como eliminadores de baterias, geradores de sinais, multímetros, investigadores de sinais, etc. A par da verificação dos transistores, a quase totalidade dos provadores inclui o teste dos diodos de estado sólido.

Um provador de transistores prático

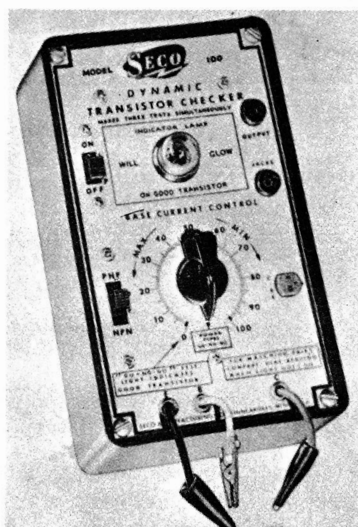
O instrumento da Fig. 3-12A, cujo diagrama esquemático está na Fig. 3-12B, utiliza uma lâmpada néon como indicadora e pode provar transistores sem que se precise retirá-los do circuito. As ligações do instrumento ao transistor em prova podem ser feitas por meio de três fios com garras jacaré, ou então através de um soquete adequado, montado no painel. Um único teste verifica simultaneamente o ganho de corrente e a existência de elementos abertos ou em curto; o instrumento consiste basicamente em um oscilador, onde o transistor sob prova desempenha o papel de elemento ativo. O potenciômetro R1, com uma escala calibrada de 0 a 100, deve ser girado para a direita, a partir do zero, até que a lâmpada se apague, indicando que cessaram as oscilações. O número apontado pelo botão, neste momento, representará o β estático do transistor. Um par de jaques de saída, no canto superior direito do painel, permite a conexão de um osciloscópio ou outro medidor externo, para observação dos sinais produzidos, sendo a lâmpada néon desligada do circuito por intermédio de CH1.

A chave CH3 seleciona os transistores *n-p-n* ou *p-n-p*: basta ligar o transistor desconhecido ao provador e, com o botão de R1 em zero, comutar a chave para uma e outra das posições: aquela em que a lâmpada acender indicará o tipo do transistor. Evidentemente, se for previamente conhecida esta característica, a chave deverá ser voltada para a posição correta, sendo dispensável o teste descrito.

Para a verificação de transistores que exijam tensões maiores, é possível acrescentar uma bateria suplementar, em série com a já existente. A chave CH2 permite que o resistor R2 seja colocado em curto, para aumentar a corrente de polarização de base quando se estiver provando transistores de potência.

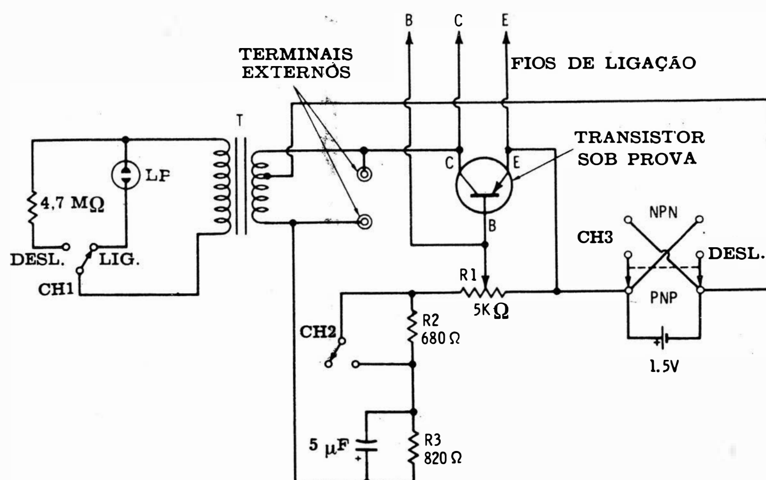
A indicação fornecida por este instrumento, quando o transistor em prova não é retirado do seu circuito, é apenas relativa, uma vez que o circuito externo pode carregar indevidamente o provador. Em alguns casos, poderá mesmo ser tão forte a carga imposta que a lâmpada néon deixe de acender; nestes casos, será necessário usar um osciloscópio para verificar a existência de oscilações.

A freqüência do oscilador cai dentro da faixa de áudio, e se o transistor em prova pertencer a um estágio amplificador de áudio, o sinal produzido poderá ser ouvido no alto-falante.



A) Aspecto externo.

Courtesy SECO Manufacturing Co.



B) Diagrama esquemático.

Fig. 3-12 — Provador de transistores SECO modelo 100

Um provador prático com medidor

O instrumento ilustrado na Fig. 3-13 é também um provador de baixo custo, que permite provar um transistor ou diodo sem retirá-lo do circuito. O indicador utilizado neste modelo é um medidor, e o instrumento é construído de tal

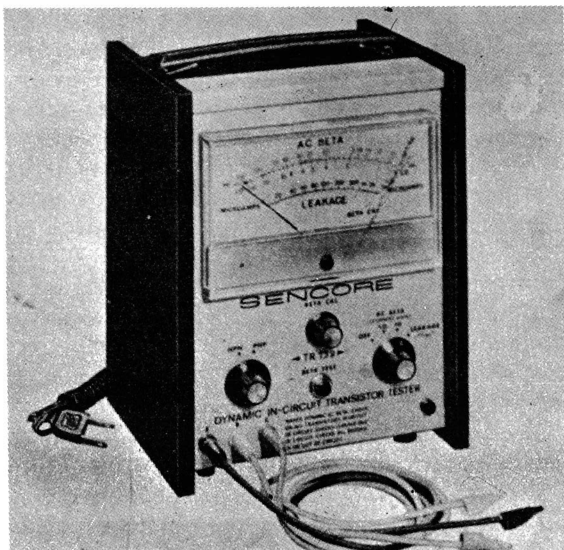


Fig. 3-13 — Provador de diodos e transistores SENCORE modêlo TR-139.

forma que se torna possível avaliar com razoável precisão as características de um transistor desconhecido, muito embora o fabricante forneça um manual de instruções para os tipos usuais.

Um provador dinâmico do ganho de corrente

O provador mostrado na Fig. 3-14, bastante mais elaborado que os anteriormente descritos, permite a determinação precisa de todas as características importantes de mais de 1.500 transistores, enumerados na tabela que acompanha o instrumento, sendo além disto possível provar um transistor sendo conhecidas as suas características básicas.

A medição de I_{cbo} é feita em três faixas: zero a 100 μA, zero a 1 mA e zero a 10 mA. As faixas para a medição do beta têm alcance de zero a 100 e zero a 300.

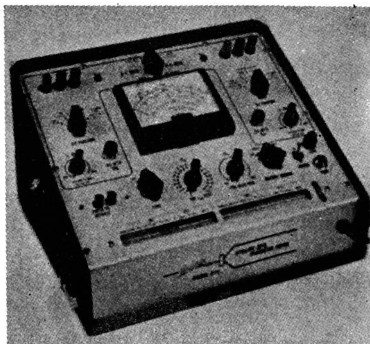


Fig. 3-14 — Provador do beta dinâmico, HICKOK modelo 870.

A corrente de coletor pode ser aumentada continuamente até 2 A, o que permite folgadamente a verificação de transistores de potência. O medidor é dotado de proteção contra sobrecargas, constituída por um diodo de silício ligado em paralelo com a bobina móvel. O instrumento permite também a determinação da resistência de entrada dos transistores. As informações que se seguem foram adaptadas do manual de instruções do fabricante.

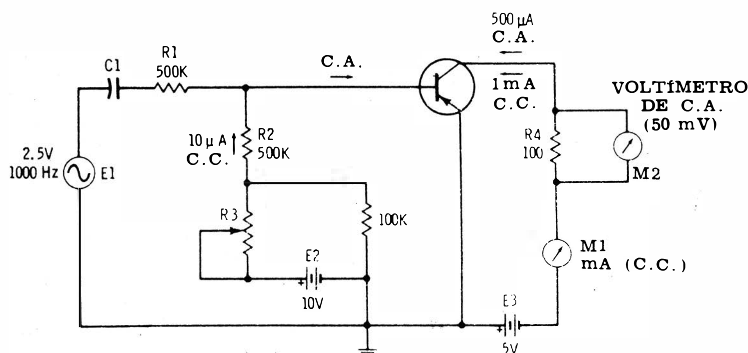
Para a medição dinâmica do ganho de corrente, o circuito normalmente utilizado, que se vê na Fig. 3-15A, excita a base do transistor com um sinal de C.A. de valor conhecido. A fonte de sinal E1 fornece uma tensão senoidal de 2,5 volts, em 1 kHz; como a resistência de entrada do transistor e a reatância do capacitor C1 são desprezíveis em presença de R1, a corrente de sinal na base do transistor será igual a

$$\frac{2{,}5\ \text{V}}{500.000\ \Omega} = 5\ \mu\text{A}$$

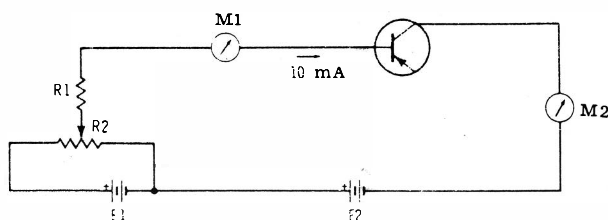
A corrente contínua de polarização de base é fornecida pela bateria E2, sendo controlada pelos resistores R3 e R2. Para transistores comuns, R3 é ajustado para que a corrente quiescente do coletor, indicada pelo medidor M1, fique por volta de 1 mA.

Se, por exemplo, o transistor tiver um beta de 100, os 5 μA de corrente na base provocarão uma corrente (de sinal) no coletor igual a

$$i_c = \beta \times i_b \qquad 5\ \mu\text{A} \times 100 = 500\ \mu\text{A}$$



A) Medição do beta dinâmico.



B) Medição do beta estático.

Fig. 3-15 — Circuitos básicos para a prova de transistores.

Esta corrente de 500 μA, passando pelo resistor de 100 ohms (R4), produzirá uma queda de tensão de

$$500\,\mu A \times 100\,\Omega = 50\,mV$$

O medidor M2, um voltímetro de alta sensibilidade com 50 mV a plena escala, tem o seu mostrador calibrado diretamente para indicar o beta, de zero a 100. A resistência de saída do transistor, da ordem de 100 kΩ, é muito maior do que R4, evitando assim que a medida seja falseada.

É muito mais fácil medir o β estático (ou ganho de corrente para grandes sinais) do que o β dinâmico, que é o ganho de corrente para pequenos sinais.

A fórmula para a determinação do β estático é a mesma do β dinâmico, mas, nas correntes de coletor e base, agora são as componentes *contínuas* que devem ser levadas em consideração. O leitor deve lembrar-se de que, quando estáva-

mos tratando do β dinâmico, as componentes consideradas eram as alternadas.

$$\beta \text{ (estático)} = I_c/I_b$$

A Fig. 3-15B ilustra o processo empregado pelo mesmo provador já descrito para medir o β estático: o circuito fornece à base do transistor uma corrente de valor conhecido, e a corrente de coletor resultante é indicada pelo medidor M1, sendo o β o quociente das duas.

O procedimento a seguir é descrito abaixo:

R2 é ajustado para uma corrente de 10 mA no circuito de base, segundo a indicação fornecida por M1; se o transistor tiver um β de 100, a corrente de coletor, indicada por M2, será de 1 ampère. Evidentemente, a corrente de base só pode ser fixada em 10 mA para *transistores de potência;* para os tipos menores, uma corrente de 100 μA ou mesmo 10 μA será mais adequada. Entretanto, normalmente o teste de β estático só tem interesse para os transistores de potência, sendo o β dinâmico medido para os tipos de pequenos sinais.

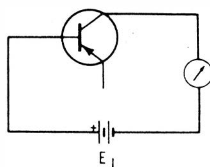
A corrente de fuga de coletor (I_{ceo}) está sobreposta à corrente produzida pela amplificação do transistor, e a rigor deveria ser subtraída desta; na maioria dos casos, entretanto, ela pode ser desprezada sem que haja erro apreciável. Para estimar seu valor, basta levar a zero a corrente de base e observar a indicação de M2, que será a corrente de fuga.

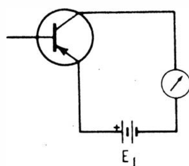
Nos transistores de tipo mais comum, a diferença entre os β estático e dinâmico é pequena; entretanto, existem alguns tipos em que o β varia grandemente com o ponto de operação do transistor, e nestes casos ocorrerão discrepâncias significativas. Para orientação dos serviços de reparação ou montagem de circuitos comuns, a característica que deve ser adotada é o β *dinâmico,* principalmente se a medida for feita sob condições de polarização típicas para o transistor em causa.

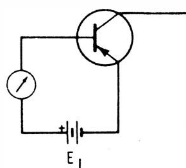
Verificação da corrente de fuga

A Fig. 3-16 mostra os processos adequados para a medição das três correntes de fuga mencionadas linhas atrás: em (A) temos a medição de I_{cbo}, em (B) a de I_{ceo} e em (C) a de I_{ebo}. A corrente de fuga da junção de coletor, I_{cbo}, que é a normalmente especificada pelo fabricante, pode ser considerada como um índice da perfeição com que foi selado o

A) *Medida de* I_{cbo}.







B) *Medida de* I_{ceo}. C) *Medida de* I_{ebo}.

Fig. 3-16 — Medição das correntes de fuga.

invólucro do transistor: se este for contaminado com impurezas, a corrente I_{cbo} terá valores elevados. Usualmente, o fabricante especifica a máxima corrente permissível, sob uma determinada tensão (E1, na Fig. 3-16), para que a unidade seja considerada aceitável.

A corrente I_{ceo} é aproximadamente igual a I_{cbo} multiplicada por β. Por sua vez, I_{ebo} geralmente tem a mesma ordem de grandeza de I_{cbo}.

QUESTIONARIO

3- 1 — Como se deve proceder para avaliar as condições de uma bateria?

3- 2 — Descreva o procedimento a seguir para usar um eliminador de baterias.

3- 3 — Enumere seis defeitos que podem ocorrer com uma válvúla.

3- 4 — Como se pode verificar o estado de uma válvula, sem usar um provador?

3- 5 — Cite os três tipos principais de provadores de válvulas.

3- 6 — Para que serve um provador de continuidade de filamentos?

3- 7 — Qual é a característica de uma válvula que o provador de emissão verifica?

3- 8 — Qual o tipo de provador de válvulas que apresenta os melhores resultados?

3- 9 — Como se pode verificar o estado de um diodo?

3-10 — Se um diodo apresenta resistências iguais em ambos os sentidos, que se pode dizer sobre seu estado?

3-11 — Quais as vantagens dos diodos de silício, em relação aos de selênio?

3-12 — Qual a precaução a tomar, quando se usa um ohmímetro para provar diodos de estado sólido?

3-13 — Enumere as características dos transistores que podem ser medidas pelos provadores.

3-14 — Cite duas causas devido às quais o teste de transistores é mais difícil do que o das válvulas.

3-15 — Se um transistor for contaminado por impurezas devido à vedação defeituosa do invólucro, qual o efeito apresentado?



4 geradores de sinais

Um *gerador de sinais,* também conhecido pelo nome de *oscilador,* é um instrumento que se destina a fornecer um sinal padrão cuja freqüência, amplitude e forma de onda são perfeitamente conhecidas. O gerador de sinais desempenha um papel importante na maioria dos processos de teste ou medição de aparelhos eletrônicos.

TIPOS DE GERADORES DE SINAIS

Uma das maneiras de classificar os geradores de sinais consiste em grupá-los de acordo com a faixa de freqüências abrangida. Existem, por exemplo, geradores de áudio, de R.F. (radiofreqüência), de VHF, de microondas, etc. Normalmente, tanto a freqüência quanto a tensão de saída são variáveis, por meio de controles no painel.

O instrumento da Fig. 4-1 é um gerador de R.F.; foi projetado para fornecer sinais contínuos ou modulados, tendo largo emprego em oficinas de rádio, televisão e equipamentos eletrônicos. O sinal contínuo é apenas um sinal de freqüência e amplitude constantes; já o sinal modulado consiste em uma onda de freqüência relativamente elevada, a *portadora,* à qual é sobreposta a *modulação,* ou seja, um sinal de freqüência muito menor (normalmente, na faixa de áudio).

Este gerador de sinais utiliza um oscilador variável para produzir freqüências fundamentais em seis faixas, cobrindo de 85 kHz a 40 MHz. Além disto, os harmônicos da faixa mais alta podem ser usados para a obtenção de freqüências

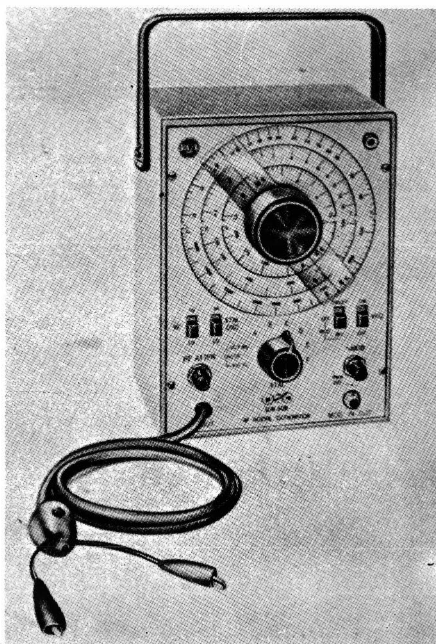


Fig. 4-1 — Gerador de sinais de R.F., modelo WR 50 B, da RCA.

ainda mais elevadas. O controle de sintonia é dotado de um vernier para a determinação precisa da freqüência de operação, e a tensão de saída é ajustada por intermédio de dois atenuadores, sendo um contínuo e o outro de duas posições. A modulação pode ser feita por um oscilador interno de 400 Hz ou por um sinal de áudio externo, sendo o nível de modulação também variável.

Em duas freqüências — 455 kHz e 10,7 MHz — o instrumento incorpora um gerador de varredura, para o alinhamento do canal de freqüência intermediária de receptores de AM ou FM. Graças a este recurso, é possível traçar, na tela de um osciloscópio, a curva de resposta de F.I. de qualquer receptor. Um circuito interno de extinção do retorno do traço proporciona a linha de referência de zero, na tela do osciloscópio.

Conta o instrumento, além disto, com um oscilador a cristal, tanto para a aferição da freqüência produzida como para

o uso como calibrador. No painel existe um soquete para a colocação de um cristal externo.

A outra classificação dos geradores de sinais leva em conta a forma de onda produzida. Temos, assim, os geradores de onda quadrada, de pulsos, de ruído, de onda dente-de-serra, etc. Outros tipos de geradores, finalmente, não têm freqüência ou forma de onda definidas com precisão — como, por exemplo, o *gerador de varredura,* que fornece um sinal de saída de amplitude constante, mas cuja freqüência varia segundo uma taxa predeterminada. Neste capítulo serão abordados ainda outros tipos de geradores para finalidades especiais.

Algumas das aplicações típicas destes aparelhos incluem o rastreio de sinais, o alinhamento de receptores de rádio e televisão, a prova e ajuste de amplificadores de alta-fidelidade, a medição da impedância de linhas de transmissão, o teste de computadores e a localização de falhas em linhas de montagem de peças metálicas. Os geradores de sinais são também muito empregados para a medição precisa de tempo e freqüência.

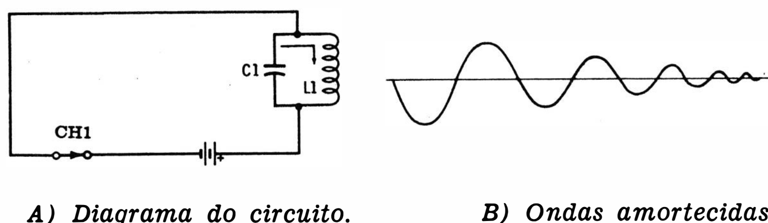
Circuitos básicos de osciladores

De acordo com o circuito empregado, os geradores de sinais se dividem em dois tipos: os L-C, ou a indutância-capacitância, e os R-C, ou a resistência-capacitância. Entre os inúmeros circuitos existentes, são mais freqüentemente encontrados os osciladores *Hartley, Colpitts,* os de *grade e placa sintonizadas* e os a *resistência negativa.* Com pequenas variações, qualquer um destes circuitos funciona igualmente bem com válvulas ou transistores.

Teoria dos osciladores

A aplicação repentina de um pulso de tensão ou corrente ao circuito da Fig. 4-2A, constituído por um capacitor e um indutor, fa-lo-á entrar em oscilação: esta condição pode ser obtida se a chave CH1 for fechada e depois aberta. O capacitor tenderá a se descarregar através da bobina, que constitui o único percurso existente; mas à medida que o capacitor se descarrega, o campo magnético da bobina acumulará energia, fornecida pela corrente circulante. Quando o capacitor estiver completamente descarregado, o campo magnético entrará em colapso, e a tensão induzida tenderá a carregar novamente o capacitor, agora com polaridade oposta. O processo

de troca de energia entre os campos magnético (da bobina) e elétrico (do capacitor) continua, assim, invertendo a polaridade a cada ciclo. A corrente diminui gradualmente até chegar a zero, como se pode ver na Fig. 4-2B, devido às per-



A) Diagrama do circuito. *B) Ondas amortecidas.*

Fig. 4-2 — Oscilações em um circuito sintonizado.

das que dissipam energia do circuito sob forma de calor. Se os componentes não tivessem perdas — ou seja, a bobina tivesse resistência nula e o capacitor não apresentasse fuga — a forma de onda produzida seria uma senóide perfeita, com amplitude sempre constante; esta situação, entretanto, não foi jamais obtida, e o sinal fornecido pelos circuitos reais, com perdas, é conhecido como *onda amortecida,* donde o nome de *oscilações amortecidas.*

Todos os circuitos osciladores que empregam circuitos sintonizados se baseiam neste princípio de troca de energia entre um componente indutivo e um componente capacitivo; na prática, porém, o amortecimento das oscilações é evitado suprindo energia ao circuito, no momento adequado, de forma a substituir a energia perdida em calor. Desta forma, a corrente oscilatória mantém constante sua amplitude.

A freqüência de operação de um oscilador L-C, ou *sintonizado,* é determinada pela fórmula

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}, \text{ onde}$$

f representa a freqüência de oscilação, em Hz,
π é a conhecida constante 3,1416,
L é a indutância da bobina, em henrys,
C é o valor do capacitor, em farads.

Em quase todos os osciladores práticos, ou L ou C é variável, para permitir a mudança da freqüência.

Oscilador auto-excitado

A Fig. 4-3 ilustra um circuito prático de oscilador. A válvula V1, no caso, desempenha a função de restituir a energia perdida em calor, mas esta tarefa poderia ser também cumprida por um transistor ou qualquer outro elemento ativo. Este circuito em particular tem também a propriedade de iniciar as oscilações tão logo seja alimentado, não dependendo de uma ação inicial como o anteriormente descrito.

Aplicando-se alimentação ao filamento e à placa de V1, a menor perturbação na corrente de placa, tal como o ruído térmico ou qualquer flutuação na fonte de alimentação, induzirá uma certa tensão em L2, sendo esta tensão aplicada à grade da válvula e amplificada. Se a tensão for positiva, haverá corrente de grade, carregando o capacitor C2. Esta tensão positiva na grade provocará o aumento da corrente de placa, tornando-se esta cada vez maior devido à realimentação de L2 para L1. Entretanto, quando for atingido o ponto de saturação da válvula a corrente cessará de aumentar, e, como este valor máximo de corrente é constante, ainda que apenas por um instante, a corrente em L2 será também cons-

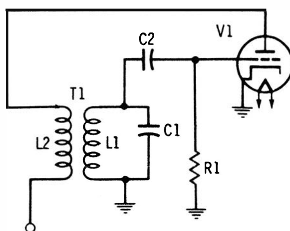


Fig. 4-3 — Circuito básico de um oscilador auto-excitado.

tante e a tensão induzida em L1 cairá a zero. Neste momento, C2 principiará a descarregar-se, polarizando negativamente a grade da válvula e provocando a redução da corrente de placa. Esta redução, por sua vez, induzirá uma tensão negativa em L1, o que tenderá a diminuir ainda mais a corrente de placa, prosseguindo esta seqüência até que a corrente na válvula caia a zero. Neste instante, todo o ciclo se repete, encarregando-se a válvula de suprir as perdas do circuito.

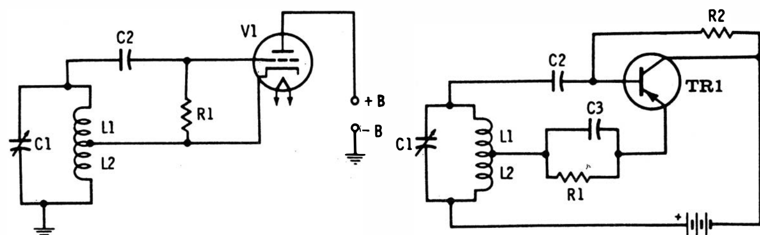
As oscilações produzidas são de amplitude praticamente constante, uma vez que a polarização é automaticamente ajustada pela carga e descarga do capacitor C2. Para que o circuito funcione, é indispensável que a realimentação entre placa e grade, ou seja, entre L2 e L1, seja *positiva*, de ma-

neira a reforçar as oscilações no circuito tanque constituído por L1/C1. Se as ligações a qualquer uma das bobinas forem invertidas, o circuito não funcionará. Como os componentes que determinam a freqüência de oscilação estão ligados à grade, este circuito é conhecido como de *grade sintonizada;* o capacitor C1 poderia também ser ligado em paralelo com L2, caso em que teríamos um oscilador de *placa sintonizada.*

Oscilador Hartley

O circuito da Fig. 4-4 é o de um oscilador Hartley, que utiliza uma única bobina com tomada, embora na figura as duas seções da bobina tenham sido designadas por L1 e L2 para facilitar a explanação. O circuito sintonizado é constituído pela bobina L1/L2 e pelo capacitor C1. No circuito a válvula da Fig. 4-4A, a grade de V1 é ligada, através de C2, ao terminal superior de L1, sendo o catodo da válvula ligado ao ponto de junção entre L1 e L2. A extremidade inferior de L2, através da fonte de alimentação, é ligada à placa da válvula. Desta maneira, L1 e L2 formam um divisor de tensão indutivo, com L1 ligada entre grade e catodo e L2 entre placa e catodo. Quando o circuito for alimentado, será induzida em L1 uma tensão amplificada, sendo esta tensão aplicada à grade. O circuito funciona de maneira muito semelhante ao que foi descrito anteriormente, residindo a única diferença na junção de um dos extremos de L1 e L2.

A Fig. 4-4B ilustra um oscilador Hartley transistorizado. O transistor, do tipo p-n-p, está ligado na configuração emissor comum, sendo o circuito tanque constituído por L1/L2 e C1. Os demais componentes têm a seguinte finalidade: C2 evita que a bobina coloque em curto a polarização de base,



A) A válvula. *B) Transistorizado.*

Fig. 4-4 — Oscilador Hartley.

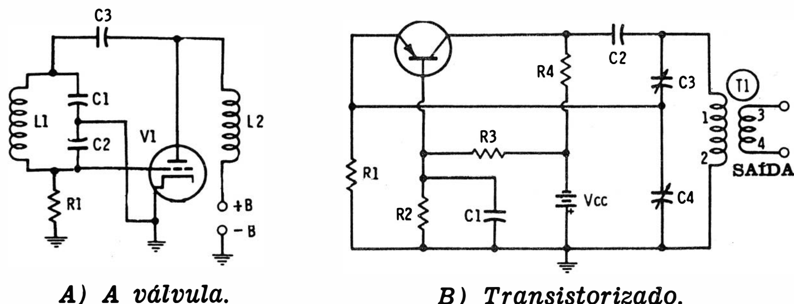
que é fornecida por R2, sendo R1 o resistor estabilizador de emissor. O capacitor C3 elimina a realimentação negativa que seria introduzida por este resistor.

Ao ser ligado o circuito, a corrente no percurso coletor-emissor — R1-L2 aumentará a partir de zero, induzindo uma tensão em L1 que tende a fazer aumentar a polarização de base e, conseqüentemente, a corrente de coletor. Quando esta atingir o valor de saturação, a tensão induzida em L1 tenderá a se anular, reduzindo as correntes de base e de coletor. A redução na corrente de coletor induz em L2/L1 uma tensão com polaridade oposta à induzida anteriormente, tensão esta que se opõe à corrente de polarização e corta o transistor. Neste ponto, a tensão em L1 volta a se anular e o ciclo de oscilação volta a se repetir.

Oscilador Colpitts

O oscilador Colpitts funciona de maneira muito semelhante ao Hartley, com a diferença de que, nele, é o ramo capacitivo do circuito sintonizado que é dividido em duas seções. Na Fig. 4-5 temos um exemplo em que o circuito tanque é constituído pela bobina L1 e pelos capacitores C1 e C2. A tensão existente nas placas de C1 é aplicada entre grade e catodo da válvula; C2, por sua vez, está ligado em paralelo com o circuito de placa da válvula.

A Fig. 4-5B mostra a versão transistorizada do oscilador Colpitts. O enrolamento primário do transformador, em conjunto com C3 e C4, constituem o circuito sintonizado. R1, R2 e R3 provêm a polarização de base e estabilização de emissor, sendo R4 o resistor de carga de coletor. O capacitor C4, que forma com C3 um divisor de tensão capacitivo, fornece a ten-



A) A válvula. *B) Transistorizado.*

Fig. 4-5 — Oscilador Colpitts.

são de realimentação necessária ao funcionamento do circuito, sendo a freqüência de oscilação controlada por um ou outro destes capacitores.

Para que o casamento seja perfeito, a relação entre as reatâncias de C3 e C4 é escolhida para ser aproximadamente igual à relação entre as impedâncias de saída e de entrada do transistor.

Oscilador de grade e placa sintonizadas

Embora este oscilador não seja tão extensamente utilizado quanto os dois anteriormente descritos, seu princípio de funcionamento é muito importante. A realimentação é feita pela capacitância intereletródica C_{gp} (capacitância entre grade e placa), como se vê na Fig. 4-6 em linha interrompida. Quando for aplicada a tensão de alimentação de placa, qualquer flutuação na mesma produzirá oscilações no circuito tanque L2/C2. Estas oscilações, por sua vez, serão acopladas à grade por intermédio de C_{gp}, onde está o circuito sintonizado C1/L1. Da grade, os sinais são amplificados e alcançam a placa, proporcionando assim um reforço às oscilações originais.

Normalmente, a tensão realimentada da placa à grade estaria 180º fora de fase, impedindo assim que o circuito oscilasse. Entretanto, é possível dar à tensão de realimentação a fase correta, sintonizando o circuito tanque de placa em uma

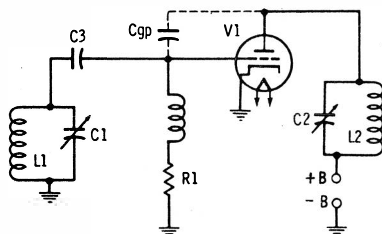


Fig. 4-6 — Oscilador de grade e placa sintonizadas.

freqüência ligeiramente mais alta do que a do circuito tanque de grade. Com esta providência, o tanque de placa apresentará uma diminuta componente indutiva, na freqüência de operação, fornecendo então à grade uma tensão *em fase* para a manutenção das oscilações.

Osciladores a cristal

Nos transmissores, nos receptores de comunicações e em outros equipamentos eletrônicos especiais, é necessário con-

tar com o controle preciso da freqüência de um oscilador. Para isto, normalmente é usado um oscilador a cristal, uma vez que este último mantém a freqüência de operação muitas vezes mais constante do que o circuito L-C. Entre os cristais naturais que são usados para o controle de freqüência vem em primeiro lugar o de *quartzo,* seguido pelo *sal de Rochelle* e pela *turmalina.* A característica destes cristais que permite seu emprego em osciladores é o fato de terem eles propriedades *piezelétricas:* se uma fina lâmina de cristal for comprimida, surgirá uma tensão em suas faces, e se for aplicada ao mesmo um sinal alternado o cristal vibrará mecanicamente na mesma freqüência. Estas vibrações, entretanto, serão muito mais intensas se o sinal aplicado tiver freqüência igual à de *ressonância* do cristal. Esta freqüência de ressonância, por sua vez, depende apenas das dimensões e do tipo de corte do cristal.

A Fig. 4-7 representa um cristal de quartzo perfeito, com seção reta hexagonal. As lâminas cortadas do cristal são polidas cuidadosamente para lhes dar a espessura desejada, determinando assim a freqüência de ressonância, que é inversamente proporcional à espessura. Evidentemente, existe um limite além do qual não é possível reduzir mais a espessura da lâmina, sendo este o limite superior de freqüências que podem ser obtidas de osciladores a cristal

Na Fig. 4-7 pode-se ver alguns tipos de corte. Os exemplos mostrados correspondem aos cortes X, Y e AT; além destes, existem também os cortes BT, CT, DT e GT. Nos cortes X e Y, uma das faces da lâmina cristalina fica paralela ao eixo Z, que na figura está na posição vertical. Os outros tipos de corte ficam a um determinado ângulo com o eixo Z,

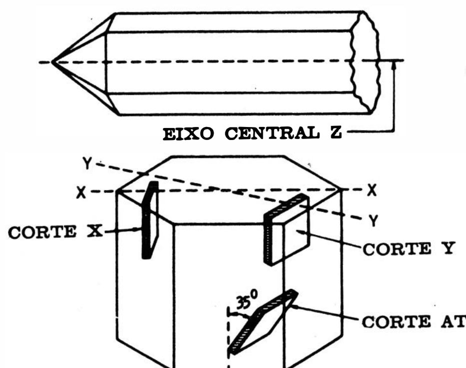


Fig. 4-7 — Cortes em um cristal de quartzo.

e são usados quando se deseja excepcional estabilidade de freqüência com relação às variações de temperatura. Em algumas aplicações, o coeficiente de temperatura do cristal deve ser especificado com precisão: se este coeficiente for positivo, a freqüência sobe à medida que aumenta a temperatura, diminuindo com a temperatura se o coeficiente for negativo. Este dado normalmente é fornecido em termos do número de hertz de variação da freqüência por cada megahertz da freqüência fundamental do cristal e por cada grau centígrado de variação de temperatura. Desta forma, quando é necessário controlar a freqüência dentro de limites muito estreitos, o cristal é colocado dentro de uma câmara térmica, sendo usado um termostato para controlar a temperatura da câmara e mantê-la tão constante quanto possível.

Em alguns circuitos, é possível alterar ligeiramente a freqüência de oscilação de um cristal pela variação da pressão exercida sobre a lâmina pelas placas de montagem. Como o cristal nada mais é do que um componente que apresenta resistência, indutância e capacitância, ele pode substituir os elementos do circuito sintonizado.

A Fig. 4-8 ilustra um oscilador a cristal transistorizado, tipo Pierce. O funcionamento deste circuito é muito semelhante ao do oscilador Colpitts, exceto pelo fato de ter sido a bobina substituída pelo cristal.

Substituindo, no oscilador Pierce, o cristal pelo seu circuito equivalente, o oscilador funcionará exatamente como o Colpitts. Os resistores de R1 a R4, na Fig. 4-8, proporcionam as condições corretas de polarização e estabilização ao transistor, sendo C1 o capacitor de desacoplamento do emissor. A inversão de fase do sinal de realimentação é obtida por meio do divisor de tensão C2/C3, já que o ponto de união destes capacitores está ligado à massa. A freqüência de operação é determinada pelo cristal e pelos capacitores C2/C3.

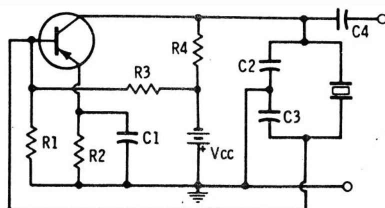


Fig. 4-8 — Oscilador Pierce a cristal.

Multivibradores

O multivibrador é um dos osciladores R-C, sendo classificado como um circuito de relaxação. A disposição básica de um circuito deste tipo pode ser vista na Fig. 4-9: consiste em dois estágios amplificadores, acoplados a resistência-capacitância, sendo a saída de um deles ligada diretamente à entrada do outro, e vice-versa. A freqüência de oscilação é determinada principalmente pelas constantes de tempo dos resistores e capacitores, embora possa ser controlada também pela variação das tensões do circuito. É também possível aumentar ligeiramente a freqüência de um multivibrador, injetando em uma das grades um sinal de comando com a freqüência desejada.

Diversos são os circuitos multivibradores empregados nos equipamentos eletrônicos. Alguns multivibradores oscilam livremente, o que significa que independem de qualquer sinal de comando, ao passo que outros necessitam receber um sinal de disparo ou comando para que possam funcionar.

O circuito da Fig. 4-9 funciona da seguinte maneira: quando a alimentação é ligada, C1 e C2 se carregam, apresentando às grades das válvulas tensões negativas de polarização. Entretanto, as correntes de placa das válvulas nunca serão exatamente iguais, e esta perturbação inicial é suficiente para dar partida às oscilações: se a corrente em V1 aumentar, aumentará também a queda de tensão em R1, reduzindo desta forma a tensão de placa desta válvula e a carga de C1. Como este capacitor tem de se descarregar através de R4, a tensão de grade de V2 tornar-se-á mais negativa, reduzindo portanto a corrente de placa desta válvula, e com isso a queda de tensão sobre R2. A tensão de placa de V2, então, aumentará, tornando mais positiva a polarização de grade de V1. O processo, como se vê, é cumulativo, e a válvula V1 terá sua corrente de placa aumentada até a saturação, enquanto V2 será levada ao corte.

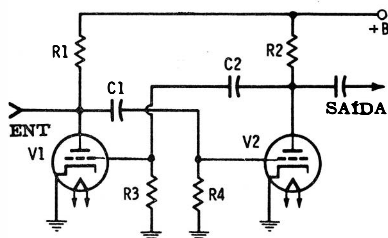


Fig. 4-9 — Multivibrador.

Durante um breve intervalo, V1 permanecerá saturada e V2 cortada; entretanto, o capacitor C2 se descarrega lentamente sobre R3, e quando a sua carga é igual à tensão de placa de V1 a grade V2 se torna suficientemente positiva para permitir a circulação de corrente pela válvula; daí em diante, o circuito repetirá todo o ciclo anteriormente descrito, levando agora V1 ao corte e V2 à saturação. A Fig. 4-10 ilustra as formas de onda nas placas das válvulas do multivibrador; observe que, quando a tensão de placa de V1 está aumentando, a de V2 está diminuindo, e vice-versa. A largura e amplitude dos pulsos serão iguais, se R3/R4, R1/R2 e C1/C2 forem iguais aos pares.

A freqüência de oscilação livre de um multivibrador é bastante estável, mas em alguns casos é indispensável obter estabilidade ainda maior, ou então é necessário *sincronizar* o multivibrador com outro sinal, obrigando-o a oscilar exatamente na freqüência deste. Em tais situações, deve ser aplicada à entrada do multivibrador — qualquer das grades ou placas — o sinal de sincronismo, cuja freqüência deve ser ligeiramente maior do que a freqüência de oscilação livre do multivibrador. Para ajustar esta freqüência de operação, R3, R4 ou ambas devem ser substituídas por potenciômetros.

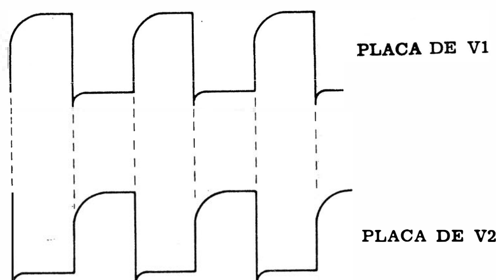


Fig. 4-10 — Forma de onda de tensão nas placas das válvulas do multivibrador.

Oscilador de acoplamento eletrônico

Quando é acoplada uma carga a um oscilador L-C, qualquer variação na carga afeta a estabilidade do oscilador. Isto acontece porque, eletricamente, a carga faz parte do circuito sintonizado. Para eliminar este inconveniente, normalmente se emprega um estágio amplificador, chamado de *separador*

entre o oscilador e a carga, com a função de isolar um do outro e reduzir a influência da carga sobre a freqüência de trabalho do oscilador.

Em alguns casos, entretanto, por questões de economia ou simplicidade, o estágio separador não é empregado, sendo substituído por um arranjo em que se utiliza um oscilador Hartley (embora pudesse, evidentemente, ser usado outro circuito qualquer) com uma válvula pentodo, funcionando a segunda grade como placa do oscilador. Desta maneira, o catodo, a grade de controle e a grade auxiliar (nas funções de placa) agem como um triodo para o oscilador. A Fig. 4-11

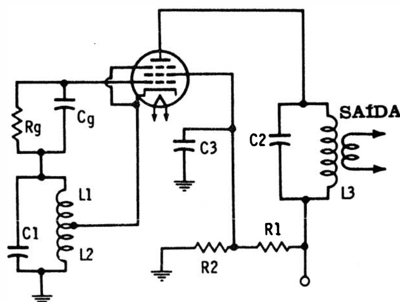


Fig. 4-11 — Oscilador de acoplamento eletrônico.

ilustra a idéia; como se pode notar, a carga não foi ligada à grade auxiliar, e sim à placa do pentodo, sendo o único elo entre o oscilador e a carga constituído pelo feixe eletrônico no interior da válvula. A quase totalidade dos osciladores locais dos receptores domésticos atuais é deste tipo.

Oscilador por deslocamento de fase

Este tipo de oscilador R-C, cujo esquema está na Fig. 4-12, utiliza uma única válvula. Em princípio, trata-se de um estágio amplificador comum, acoplado a resistência-capacitância, com uma rede de deslocamento de fase, constituída por R1, R2, R3, C1, C2 e C3, ligada entre a saída e a entrada do amplificador. A finalidade desta rede é introduzir uma rotação de fase de 180º entre a saída do amplificador e a saída da rede, sobre o resistor R3, de modo a alimentar a grade com um sinal de polaridade correta para manter as oscilações.

Se o ganho da válvula for cuidadosamente ajustado para ser um pouco maior do que o necessário para dar partida ao oscilador, a forma de onda produzida será praticamente se-

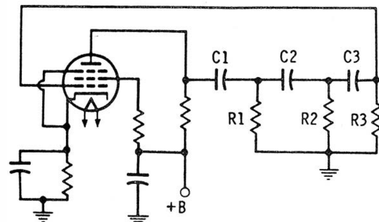


Fig. 4-12 — Oscilador por deslocamento de fase.

noidal. Este tipo de oscilador é muito empregado em laboratórios, para gerar uma única freqüência.

Oscilador em ponte de Wien

O oscilador da Fig. 4-13 é extensamente empregado em geradores de áudio, onde a pureza da forma de onda e a facilidade de variação da freqüência são importantes. O circuito utiliza dois estágios de amplificação, constituídos por V1 e V2, sendo a freqüência determinada pelos componentes R1, R2, R3, R4, C1 e C2.

A saída de V2 é aplicada a uma das diagonais da ponte, sendo a entrada de V1 ligada à outra diagonal. O circuito oscilará na freqüência em que a realimentação proporcionada pela rede discriminadora de freqüência seja de polaridade adequada à manutenção das oscilações. No início, a resistência de R3, que é uma lâmpada incandescente de baixa potência, é baixa, com o que o ganho de V1 é alto. À medida que passa corrente por R3, entretanto, seu filamento se aquece e aumenta de resistência, reduzindo o ganho de V1 até o ponto em que este seja apenas suficiente para manter as oscilações. Observe que, embora o oscilador em ponte de Wien seja parecido com o multivibrador, ele opera com suas válvulas tão longe da saturação quanto seja possível.

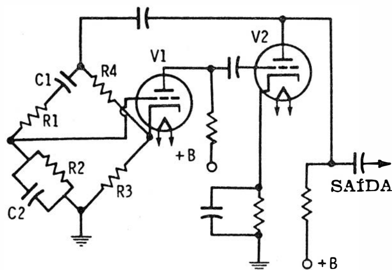


Fig. 4-13 — Oscilador em ponte de Wien.

A freqüência de operação deste circuito depende dos resistores e capacitores da ponte. Se R1 for igual a R2, e C1 igual a C2, a freqüência em que o circuito oscilará será dada por

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

onde R = R1 = R2 e C = C1 = C2

Normalmente, ou os resistores ou os capacitores são variáveis, permitindo o ajuste da freqüência. Os dois componentes variáveis são acoplados mecanicamente, de maneira a mudarem simultaneamente de valor. Em outros casos, é possível fazer, por exemplo, os capacitores continuamente variáveis e os resistores variáveis por degraus, de maneira a permitir maior alcance de freqüências. A Fig. 4-14 ilustra um oscilador em ponte de Wien que utiliza transistores de efeito de campo.

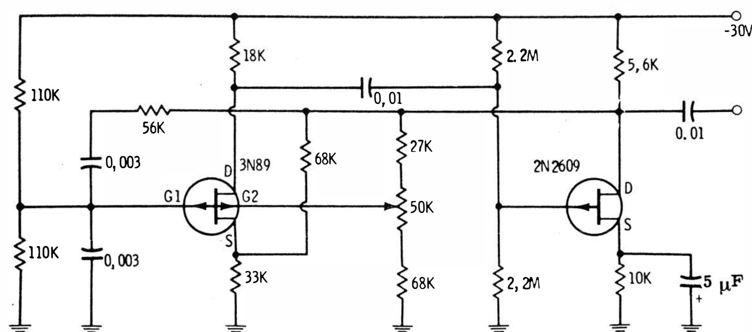


Fig. 4-14 — Oscilador em ponte de Wien com transistores de efeito de campo.

CIRCUITOS TÍPICOS DE GERADORES

O circuito do gerador de áudio da Fig. 4-15 está na Fig. 4-16. Para simplificar a análise de seu funcionamento, vamos dividi-lo em quatro partes: a fonte de alimentação, o oscilador, o atenuador, e o circuito do medidor.

1 — A fonte de alimentação é totalmente convencional, sendo constituída por um transformador, um retificador de onda completa com uma 6X4 e um filtro em π. A tensão de saída é de 410 volts, e a fonte é protegida por um fusível.



Fig. 4-15 — Gerador de áudio da EICO, modelo 378.

2 — O oscilador emprega uma 6AU6 como amplificadora de tensão, diretamente acoplada ao seguidor de catodo constituída pela 6CL6 (ligada como triodo). A realimentação positiva é acoplada do catodo da 6CL6 ao catodo da 6AU6 através do capacitor C7 e de R27, que é uma lâmpada com filamento de tungstênio. A realimentação negativa, por sua vez, é feita por uma rede discriminadora de freqüências do tipo "T-paralelo"; esta rede tem a propriedade de cancelar a realimentação positiva em todas as freqüências, exceto uma, permitindo então que o circuito oscile nesta freqüência.

Fixados os valores dos componentes do "T-paralelo", o circuito oscilará com amplitude sempre crescente, até provocar distorção na forma de onda. No caminho da realimentação positiva, entretanto, está o filamento de R27; quando a corrente aumenta, a resistência do filamento sobe, tendendo a reduzir a realimentação e, conseqüentemente, a amplitude das oscilações. Se, porventura, as oscilações se tornarem fracas demais, a resistência de R27 diminuirá, proporcionando mais realimentação e estabilizando, desta forma, a amplitude dos sinais de saída.

A freqüência de operação (Ver Fig. 4-17) é determinada pelos valores de C1, C2, R1, R6, R9 e R14. Se os dois capacitores forem simultaneamente reduzidos por um fator de 10, a freqüência será multiplicada pelo mesmo valor. Esta é a

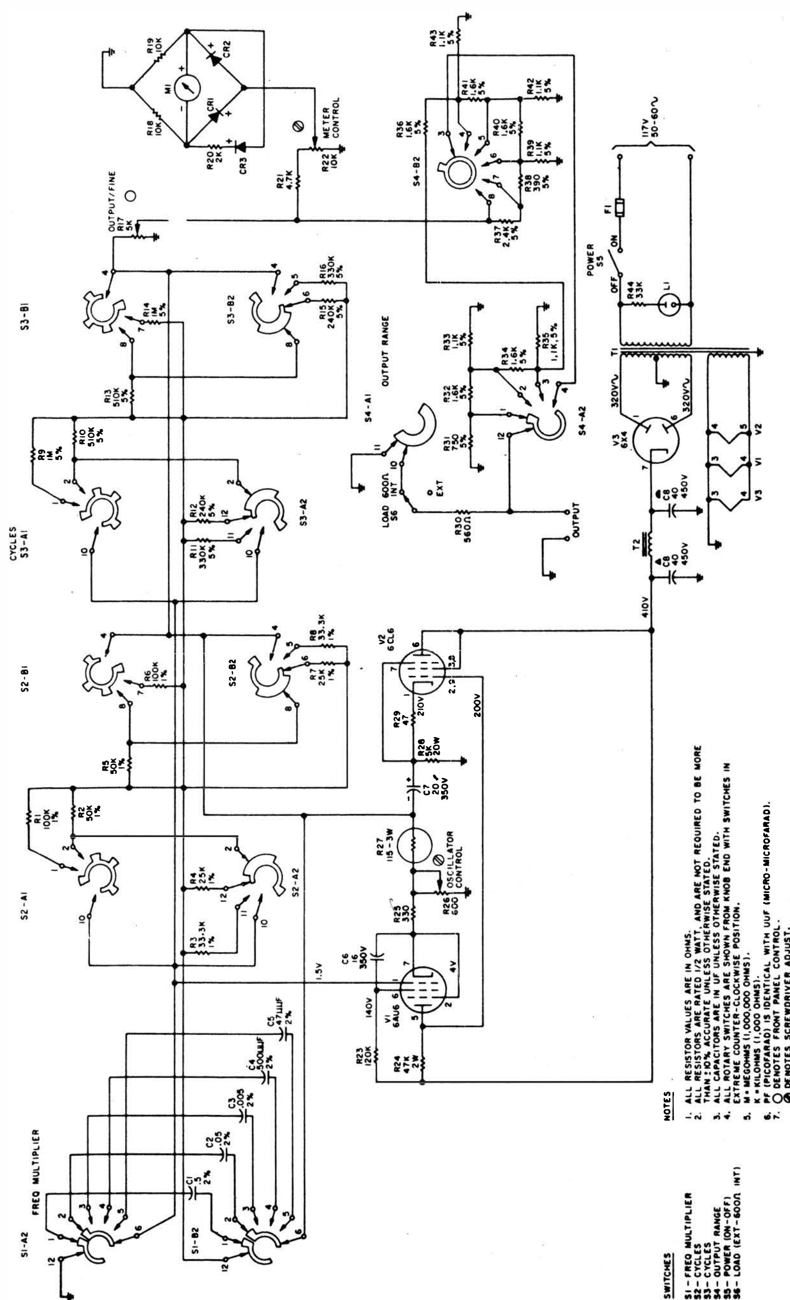


Fig. 4-16 — Diagrama esquemático do EICO modelo 378.

finalidade da chave "FREQ MULTIPLIER" ("MULTIPLICADOR DE FREQÜÊNCIA").

As duas chaves "CYCLES" ("FREQÜÊNCIA") controlam os resistores R1/R6 e R9/R14, sendo dispostas de tal forma que se torna possível obter qualquer freqüência com número inteiro de ciclos.

3 — O potenciômetro R17, correspondendo ao botão "OUTPUT-FINE", e a chave CH2, correspondente a "OUTPUT-RANGE", fazem parte do atenuador, sendo o primeiro controle de ajuste contínuo e o último uma chave com oito posições, proporcionando saltos de 10 dB de uma posição para outra. As tensões de saída podem variar de 3 a 100 milivolts.

A impedância de saída do atenuador, para que o medidor indique o valor real da tensão existente nos bornes do instrumento, é de 600 ohms, quando a chave "OUTPUT-RANGE" estiver em qualquer posição abaixo de 1 volt eficaz. O aparelho dispõe de uma carga interna de 600 ohms para terminar corretamente o atenuador, podendo esta carga ser desligada quando a carga externa tiver este valor. Nas posições correspondentes a 3 e 10 volts eficazes, a carga interna de 600 ohms é desligada, uma vez que a saída do gerador deve permanecer em circuito aberto para proporcionar as tensões indicadas.

4 — O circuito do medidor utiliza um retificador em ponte, associado a um medidor de 200 μA, obtendo uma parte da tensão presente no atenuador contínuo para a medição. A

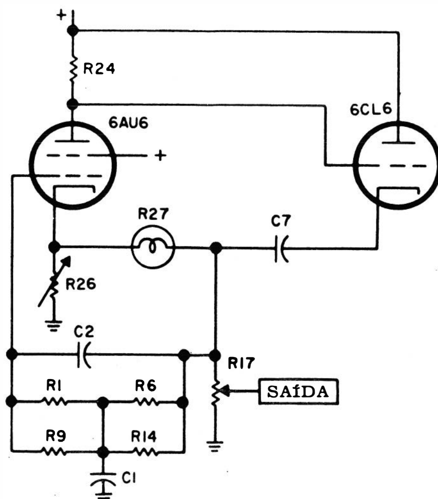


Fig. 4-17 — Rede discriminadora de freqüência do gerador EICO 378.

fração de sinal que é retificada pela ponte é determinada pelo controle R22, que permite a escolha de um dos dois alcances do medidor: 1 ou 3 volts eficazes, sendo que nesta última faixa o instrumento dispõe de uma escala associada de — 20 a + 2 dB. O diodo D3, ligado em paralelo com o medidor, serve para compensar a não linearidade dos diodos da ponte.

Um gerador de sinais transistorizado

A Fig. 4-18A mostra um gerador de áudio que emprega um único transistor e é alimentado por pilhas secas. Devido à sua portabilidade, este instrumento é de grande utilidade na calibração e ajuste de amplificadores e medidores de áudio. A chave CH1, no circuito da Fig. 4-18B, seleciona uma das duas freqüências disponíveis, 400 e 1.000 Hz. O nível de saída, sobre uma carga de 600 ohms, é de 2 volts.

O circuito utiliza um transistor p-n-p em um oscilador Hartley, sendo o sinal levado ao circuito em prova por meio de um cabo coaxial.

GERADORES DE ONDAS NÃO SENOIDAIS

Os geradores que produzem ondas não senoidais são freqüentemente utilizados para provar amplificadores, transmissores, linhas de transmissão, etc. Um gerador de ondas quadradas, por exemplo, permite a determinação da resposta de freqüência de um amplificador de áudio com rapidez e precisão.

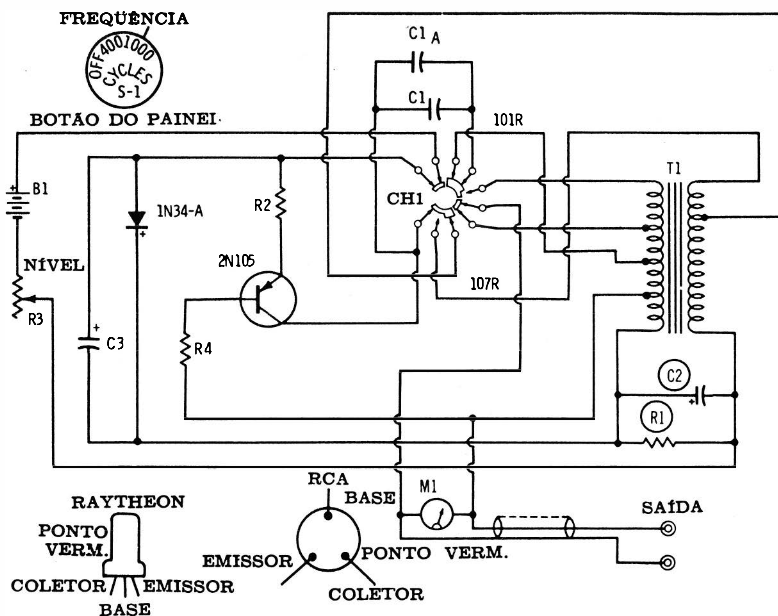
A Fig. 4-19A mostra o método convencional utilizado para o levantamento da curva de resposta de um amplificador: o gerador de áudio, de freqüência variável, é ligado à entrada do amplificador, sendo colocado em sua saída um voltímetro e um resistor de carga adequado. Mantendo-se o nível de tensão de entrada constante, e variando a freqüência ao longo do espectro de áudio, deve-se anotar no gráfico da Fig. 4-19B a tensão de saída correspondente a cada freqüência. Este gráfico representa a curva de resposta do amplificador.

Muito embora não seja necessário medir a tensão de saída para mais do que umas vinte ou trinta freqüências diferentes, ainda assim o processo é bastante demorado, e a maioria dos técnicos dá preferência ao método das ondas quadradas, descrito a seguir.

A princicpal vantagem deste processo consiste na medição feita simultaneamente, em todas as freqüências de interesse.

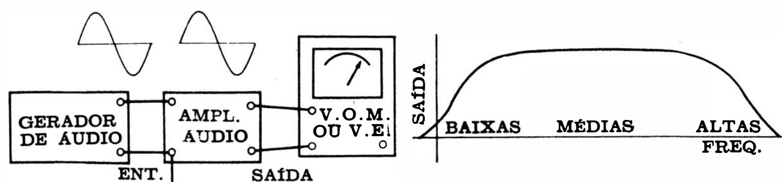


A) Aspecto externo.



B) Diagrama esquemático.

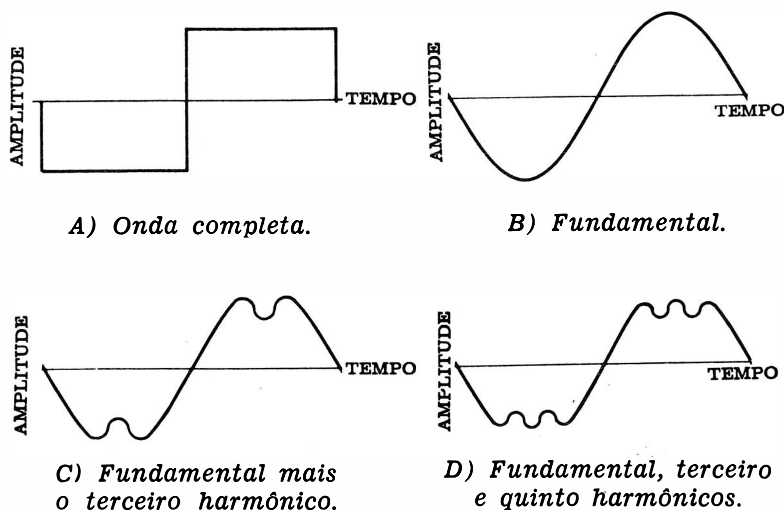
Fig. 4-18 — Oscilador transistorizado da GENERAL RADIO, modelo 1307-A.



A) Disposição dos elementos. *B) Curva de resposta típica.*

Fig. 4-19 — Levantamento da curva de resposta de freqüências de um amplificador.

Qualquer onda não senoidal é composta, como sabemos, por uma fundamental e diversos harmônicos, todos de forma senoidal. A onda quadrada ideal consiste na fundamental e nos harmônicos ímpares, como se vê na Fig. 4-20A, sendo simétrica em relação ao eixo horizontal. Se, por exemplo, a razão de repetição da onda quadrada mostrada na figura for de 100 Hz, então a freqüência da fundamental, mostrada na Fig. 4-20B, será também de 100 Hz. O terceiro harmônico, conseqüentemente, terá 300 Hz, o quinto, 500 Hz, e assim por diante. Na Fig. 4-20C pode-se ver o efeito causado pelo acréscimo do terceiro harmônico à fundamental, ao passo que a Fig. 4-20D ilustra o resultado da soma da fundamental, do terceiro e do quinto harmônicos. Como se vê, à medida que



A) Onda completa. *B) Fundamental.*

C) Fundamental mais o terceiro harmônico. *D) Fundamental, terceiro e quinto harmônicos.*

Fig. 4-20 — Componentes de uma onda quadrada.

se adicionam os harmônicos ímpares, a forma de onda resultante se aproxima mais e mais da forma ideal de onda quadrada.

Teoricamente, seriam necessários infinitos harmônicos para formar uma onda perfeitamente quadrada; entretanto, para finalidades práticas, da ordem de 10 a 20 harmônicos são suficientes para formar uma onda quadrada razoavelmente bem conformada. Este conceito da composição de uma onda quadrada a partir da fundamental e dos harmônicos ímpares, evidentemente, admite sua aplicação inversa, ou seja, uma onda quadrada pode ser decomposta, por meio de filtros ou outros circuitos seletivos, em suas componentes senoidais.

Devido às dificuldades inerentes ao controle preciso das amplitudes relativas dos diversos harmônicos, normalmente não é usado o processo de adição de componentes senoidais para formar ondas quadradas. Ao invés disto, o processo geralmente empregado é o ilustrado na Fig. 4-21: obtém-se primeiro uma onda senoidal, cortando depois as cristas supe-

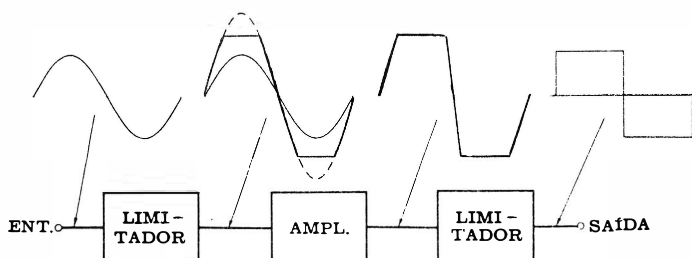


Fig. 4-21 — Obtenção de uma onda quadrada a partir de uma onda senoidal.

rior e inferior. A seguir, a onda passa por um amplificador, que torna mais abruptos os lados verticais, sendo novamente cortadas as cristas na saída deste amplificador. Outro processo para a geração de ondas quadradas consiste em utilizar um multivibrador seguido de um conformador, para melhorar a forma de onda.

A Fig. 4-22 ilustra o princípio de funcionamento do recortador (ou limitador). Admitamos que as baterias B1 e B2 têm, cada uma, 3 volts. O diodo D1 corta as cristas positivas, e D2 elimina as cristas negativas. Quando o sinal de entrada estiver no semiciclo positivo, o diodo D2, polarizado inversamente, não poderá conduzir. A princípio, a bateria B1 também impede que D1 conduza, mas tão logo a tensão de entrada atinja 3 volts o diodo proporcionará um curto-circuito

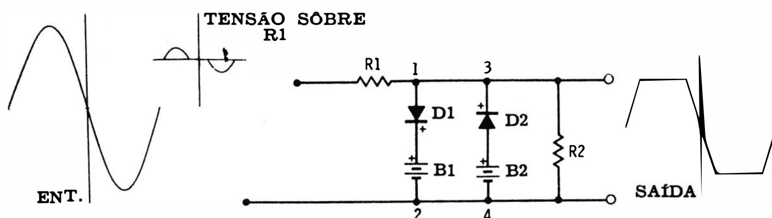


Fig. 4-22 — Circuito limitador a diodo.

entre os pontos (1) e (2), fazendo com que a parte do ciclo acima de 3 volts seja eliminada, aparecendo sobre o resistor R1.

O diodo D2 e a bateria B2 agem de maneira semelhante com o semiciclo negativo, colocando em curto os pontos (3) e (4) tão logo a tensão de entrada seja superior a 3 volts (em valor absoluto). O sinal de saída aparece sobre o resistor R2.

PROVANDO UM AMPLIFICADOR COM ONDAS QUADRADAS

A Fig. 4-23 esquematiza o processo usado para aferir a resposta de freqüência de um amplificador, usando ondas quadradas. Com a chave CH1 na posição 1, pode-se observar na tela do osciloscópio a onda quadrada fornecida pelo gerador, e que, evidentemente, deverá apresentar pouca ou nenhuma deformação. Movendo então a chave para a posição 2, a saída do amplificador será ligada à entrada do osciloscópio: se a forma na tela não apresentar diferença alguma da anterior, pode-se admitir que a resposta do amplificador é linear desde a freqüência fundamental da onda quadrada até aproximadamente dez vezes esta freqüência.

Se, por exemplo, o amplificador reproduzir sem distorção uma onda quadrada de 100 Hz, pode-se dizer que sua resposta é linear de 100 Hz a 1 kHz. Se for necessário conhecer

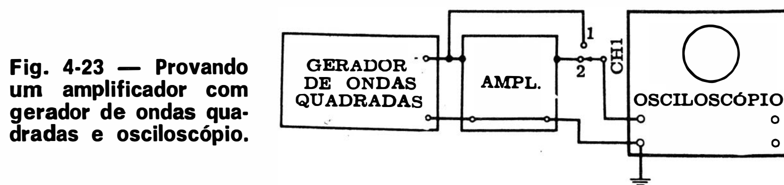


Fig. 4-23 — Provando um amplificador com gerador de ondas quadradas e osciloscópio.

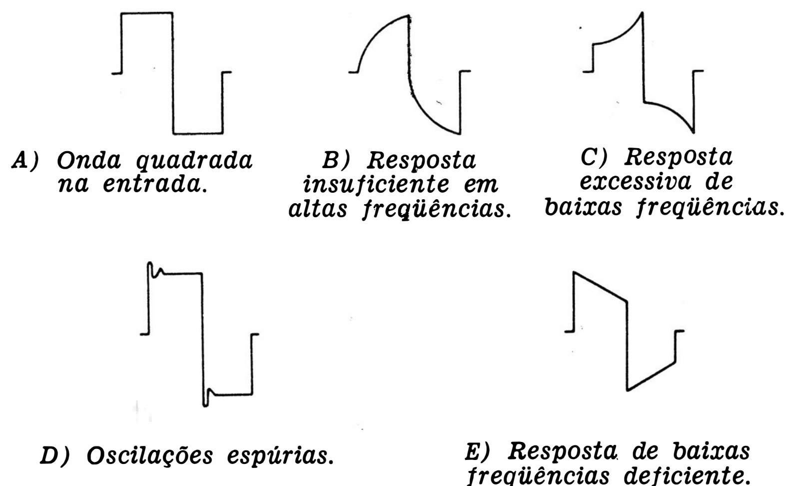
a resposta do amplificador a freqüências mais altas, basta passar o gerador para, por exemplo, 500 ou 600 Hz, podendo então a resposta ser conhecida até 5 ou 6 kHz. O processo pode ser levado assim até o limite útil do amplificador.

Resposta de um amplificador às ondas quadradas

A Fig. 4-24 mostra como se apresenta a forma de onda na saída do amplificador, quando a resposta do mesmo não é linear. A entrada é uma onda quadrada perfeita, como se vê em (A); se a resposta do amplificador for pobre em freqüências altas, a forma de onda na saída será a mostrada em (B), e um reforço em baixas freqüências acarretará a deformação indicada em (C). Em (D) temos o que acontece quando o amplificador tem oscilações espúrias em determinadas freqüências; finalmente, em (E), vemos a resposta de um amplificador com deficiência na amplificação de freqüências baixas.

Geradores dente-de-serra

Os geradores de ondas dente-de-serra não são empregados com tanta freqüência quanto os de ondas quadradas; alguns entendidos, entretanto, acham que a onda dente-de-serra tem maior valor do que a onda quadrada para a prova



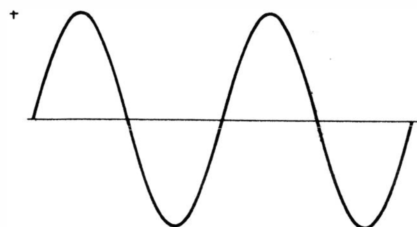
A) Onda quadrada na entrada. *B) Resposta insuficiente em altas freqüências.* *C) Resposta excessiva de baixas freqüências.*

D) Oscilações espúrias. *E) Resposta de baixas freqüências deficiente.*

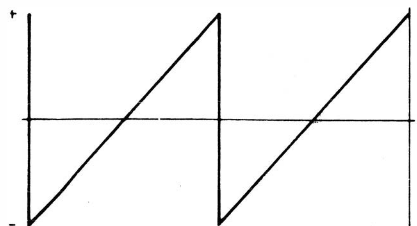
Fig. 4-24 — Distorções causadas por uma resposta não-linear.

de amplificadores. Uma das razões para esta preferência reside na decomposição da onda dente-de-serra em seus harmônicos: ela é formada pela fundamental e por uma combinação adequada de harmônicos pares e ímpares, ao passo que a onda quadrada contém apenas harmônicos ímpares. Na Fig. 4-25 estão comparadas as três formas de onda, senoidal, quadrada e dente-de-serra. Esta última deve, em condições ideais, subir linearmente até o valor máximo, caindo então num intervalo infinitamente pequeno para o valor mínimo e recomeçando a subida.

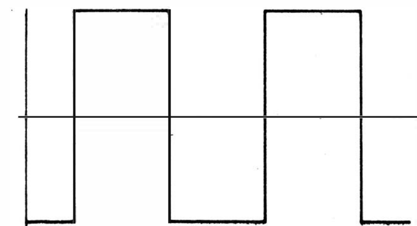
A Fig. 4-26A mostra como pode ser obtida uma onda dente-de-serra. A válvula está polarizada no corte, na ausência de sinal. Quando for aplicada alimentação ao circuito, o capacitor C1 carregar-se-á ao valor da tensão da fonte, de for-



A) Senóide.



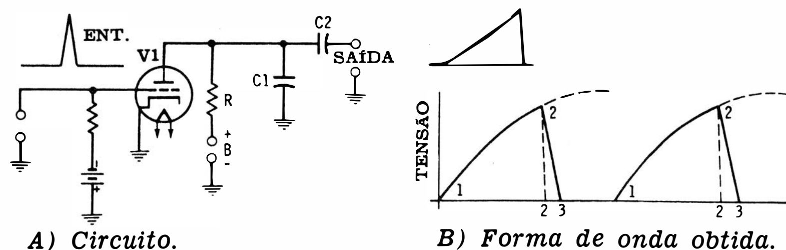
B) Dente-de-serra.



C) Onda quadrada.

Fig. 4-25 — Comparação de formas de onda.

ma exponencial. Se, porém, for aplicado um pulso positivo à grade da válvula, durante a parte inicial do ciclo de carga do capacitor, o triodo conduzirá repentinamente ao chegar a tensão de placa no ponto 2, descarregando o capacitor. A forma de onda do sinal na placa será aproximadamente um dente-de-serra, embora se possa ver na Fig. 4-26B que o sinal obtido não é exatamente linear.



A) Circuito. *B) Forma de onda obtida.*

Fig. 4-26 — Circuito usado para gerar uma onda dente-de-serra.

GERADORES DE VARREDURA

Um gerador de varredura, como vimos, é um gerador de sinais que varia a freqüência produzida segundo uma taxa pré-determinada, entre dois valores limites. Normalmente, a saída de um gerador de varredura tem amplitude constante, para qualquer freqüência dentro dos limites fixados. Este tipo de gerador é muito empregado para a calibração de receptores de freqüência modulada e de televisão. O método direto para levantar a curva de resposta, que consiste em injetar diversas freqüências à entrada do receptor, uma de cada vez, anotando a tensão de saída e locando os dados em um gráfico, não só é demorado como sujeito a erros. Com o gerador de varredura, por outro lado, pode-se observar simultaneamente todo o espectro de freqüências de interesse.

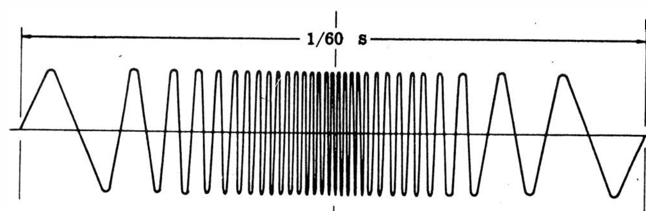
A Fig. 4-27A mostra a saída de um gerador de varredura: a onda de saída começa com o valor mínimo, f_0, aumentando progressivamente até a freqüência máxima, f_{max}. A seguir, a freqüência diminui até f_0, recomeçando então o processo. Muitos geradores de varredura incluem um circuito que permite eliminar a última porção da onda na saída, a que corresponde à "descida" de freqüência entre f_{max} e f_0, deixando apenas a outra parte, como se vê na Fig. 4-27B. Isto facilita a interpretação do resultado de um teste com o gerador.

Se o sinal mostrado na Fig. 4-27B variar de 0 a 6 MHz, por exemplo, e for aplicado à entrada de um amplificador

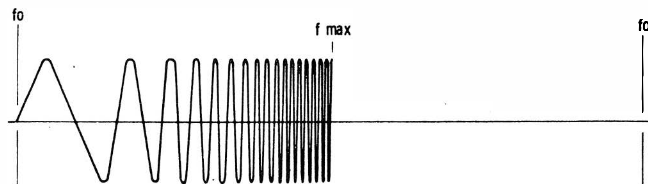
de vídeo, qualquer afastamento da resposta, na saída do amplificador, com respeito à saída plana mostrada na Fig. 4-27C, indicará deficiência do amplificador em reproduzir determinadas freqüências, devendo então o mesmo ser ajustado para proporcionar a resposta plana que dele se espera.

Evidentemente, a observação direta da resposta na tela de um osciloscópio exige que este tenha resposta plana na faixa de freqüências em que está sendo feita a medida, no caso, 0 a 6 MHz. Como um osciloscópio que preencha esta condição é relativamente dispendioso, muitas vezes se utiliza o recurso de interpor entre a saída do amplificador e a entrada do osciloscópio um *detector*, que nada mais é do que um circuito retificador com filtro. A resposta mostrada na Fig. 4-27C foi obtida por este processo, que exige apenas um osciloscópio com boa resposta de baixas freqüências.

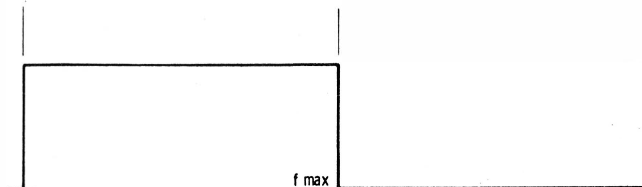
Se o gerador de varredura for usado para modular um gerador de R.F., o resultado será um sinal que varia de fre-



A) Sinal na saída do gerador.



B) Sinal reduzido a um único semiciclo.



C) Sinal depois de passar pelo detector.

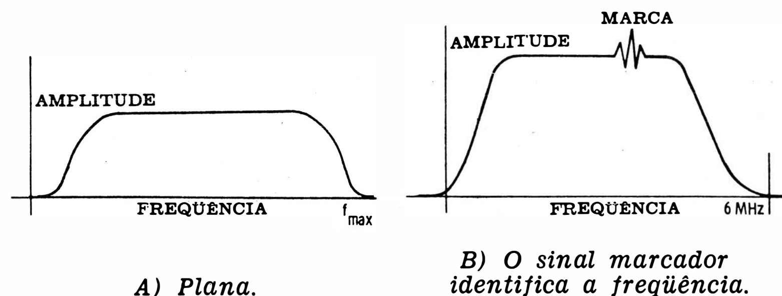
Fig. 4-27 — Formas de onda obtidas com um gerador de varredura.

qüência por uma quantidade igual à soma e à diferença da maior freqüência do gerador de varredura, f_{max}, e a freqüência da portadora. Este sinal composto, que nada mais é do que um sinal modulado em freqüência, tem grande utilidade na verificação da curva de resposta de receptores de televisão e de freqüência modulada. A resposta de um amplificador nunca é perfeitamente plana, e sim aproximadamente como a ilustrada na Fig. 4-28A ou 4-28B; esta última curva representa a curva de resposta ideal do amplificador de vídeo em um receptor de televisão: em 3,5 MHz, a resposta começa a cair, chegando a zero em 6 MHz.

Para identificar uma determinada freqüência ao longo da curva de resposta, é necessário dispor de um instrumento auxiliar, o *gerador de marcas*. Este nada mais é do que um gerador de R.F. comum, embora os instrumentos construídos especificamente para esta finalidade usualmente sejam dotados de calibrador a cristal, permitindo a determinação precisa de uma ou mais freqüências. O efeito causado pelo gerador de marcas na curva de resposta pode ser visto na Fig. 4-28B permitindo a localização exata dos pontos de controle.

Método para variar a freqüência

Antigamente, os geradores de varredura empregavam um capacitor variável com o eixo mecanicamente acoplado a um motor, capacitor este que fazia parte do circuito sintonizado do oscilador. A taxa de variação da freqüência, neste caso,



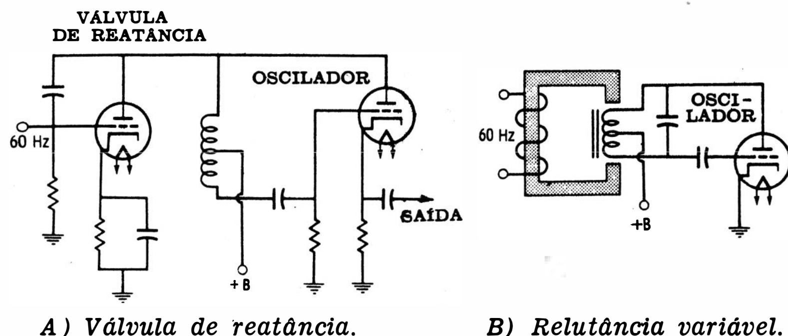
A) Plana. *B) O sinal marcador identifica a freqüência.*

Fig. 4-28 — Curvas de resposta de freqüências típicas.

era determinada pela velocidade do motor, e os limites entre os quais a freqüência variava dependiam da relação entre os valores máximo e mínimo de capacitância. Mais tarde, apareceram os geradores de varredura com válvula de reatância, segundo o princípio ilustrado na Fig. 4-29A. A válvula de

reatância, neste circuito, é alimentada por uma tensão senoidal de 60 Hz. Um sistema mais moderno pode ser visto na Fig. 4-29B: a bobina do circuito sintonizado que determina a freqüência do oscilador é suspensa entre os pólos de um eletroímã, a cujo enrolamento é aplicada uma tensão de 60 Hz. O campo magnético produzido faz variar a permeabilidade do núcleo da bobina, e conseqüentemente a indutância desta. A intensidade da corrente no eletroímã fixa os limites de variação da freqüência do oscilador.

Quando o sinal de saída de um destes geradores fica na faixa de áudio ou de vídeo, normalmente ele é aplicado a um amplificador separador, como, por exemplo, um seguidor de catodo, e a seguir passa por um atenuador. Quando, porém, o



A) Válvula de reatância. *B) Relutância variável.*

Fig. 4-29 — Dois circuitos empregados em geradores de varredura.

sinal desejado é de freqüência mais alta, para excitar diretamente o canal de freqüência intermediária de um receptor, a saída do gerador de varredura propriamente dito é levada a um *misturador*, que se encarrega de combiná-la com o sinal produzido por um oscilador de freqüência fixa. O sinal resultante do batimento, então, é levado ao amplificador e ao atenuador.

A deflexão horizontal do osciloscópio com o qual se vai observar a curva de resposta, evidentemente, deve ser feita com tensão de idêntica forma e freqüência à que alimentou o gerador de varredura. Por esta razão, a maioria dos geradores deste tipo dispõe de terminais de saída para a entrada horizontal do osciloscópio, sendo, além disto, previsto um controle para variar a fase deste sinal, de forma a permitir a observação do sinal na tela.

Um gerador de varredura transistorizado

O gerador de varredura que se vê na Fig. 4-30 é um exemplo dos instrumentos transistorizados que têm sido desenvolvidos nos últimos anos. Um diagrama esquemático parcial pode ser visto na Fig. 4-31, e o diagrama de blocos está na

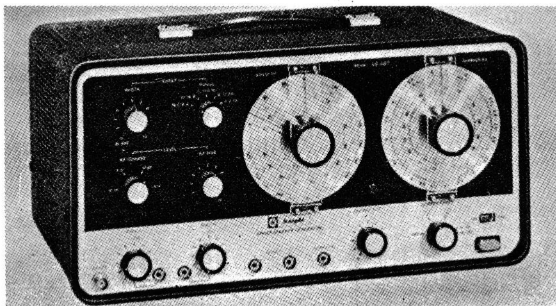


Fig. 4-30 — Gerador de varredura de estado sólido, KNIGHT modelo KG-687.

Fig. 4-32. O circuito utiliza um indutor de núcleo saturável, Z1: a corrente no enrolamento de controle afeta a reatância dos demais enrolamentos, determinando assim a freqüência central e os limites da varredura do oscilador, constituído por TR4. O coração do gerador é o indutor variável, cujos cinco enrolamentos controlados permitem a produção de qualquer freqüência de saída. O núcleo do indutor saturável é de ferrita.

O oscilador é do tipo Colpitts, sendo o circuito L-C constituído por um dos enrolamentos controlados de Z1 e pelo capacitor C5. O transistor TR4 é alimentado em paralelo e a realimentação é proporcionada por C42, C3 e R10, do lado "vivo" de C5A à base do transistor. C6 acopla o sinal do circuito tanque a dois seguidores de emissor em cascata, TR5 e TR6, de onde ele passa ao atenuador de saída. Os seguidores de emissor têm a finalidade de isolar tanto quanto possível o oscilador da carga, evitando interações indesejáveis. O sinal é aplicado não só aos terminais de saída do instrumento, como também ao misturador e a um circuito detector de amostragem, que desenvolve uma tensão positiva proporcional à amplitude do sinal de saída. Esta tensão é aplicada ao amplificador do controle automático de nível, TR1, e se ela tender a aumentar, a tensão de coletor de TR1 cairá, sendo esta variação transferida a TR3. A tensão que alimenta o co-

letor do transistor oscilador, TR4, é tomada do emissor de TR3, e, no caso acima, ela também será reduzida, proporcionando assim um decréscimo na amplitude das oscilações e

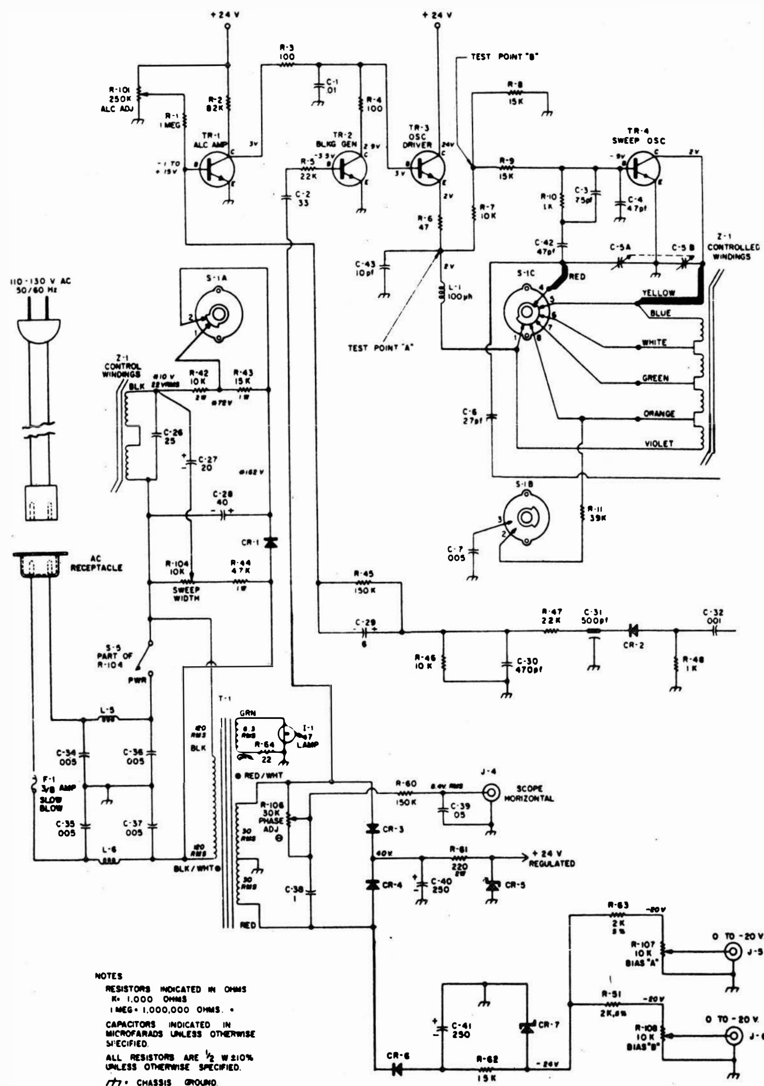


Fig. 4-31 — Diagrama esquemático do gerador KNIGHT KG-687.

corrigindo a variação original. Graças a este circuito, a saída do gerador é praticamente constante, em qualquer faixa e posição do variável C5.

Passando por C25 e R41, o sinal ganha então a entrada do misturador-amplificador TR8. No emissor deste transistor está presente um sinal fornecido pelo oscilador de freqüência variável ou pelo oscilador a cristal. Sempre que a freqüência do gerador de varredura passar pela freqüência do O.F.V., será produzido um sinal de áudio no coletor de TR8; este sinal é tornado mais agudo por meio de filtros passa-altas e passa-baixas. Este sinal de marcação é injetado diretamente na entrada do osciloscópio, *depois* de ter o sinal passado pelo equipamento que está sendo examinado, evitando assim que a curva de resposta deste possa distorcer o sinal marcador ou ser por ele afetada.

O O.F.V. é constituído pelo transistor TR9, num circuito Colpitts, com variação individual da indutância em cada faixa e variação de um só capacitor para todas as faixas. A saída é tomada em um ponto de baixa impedância.

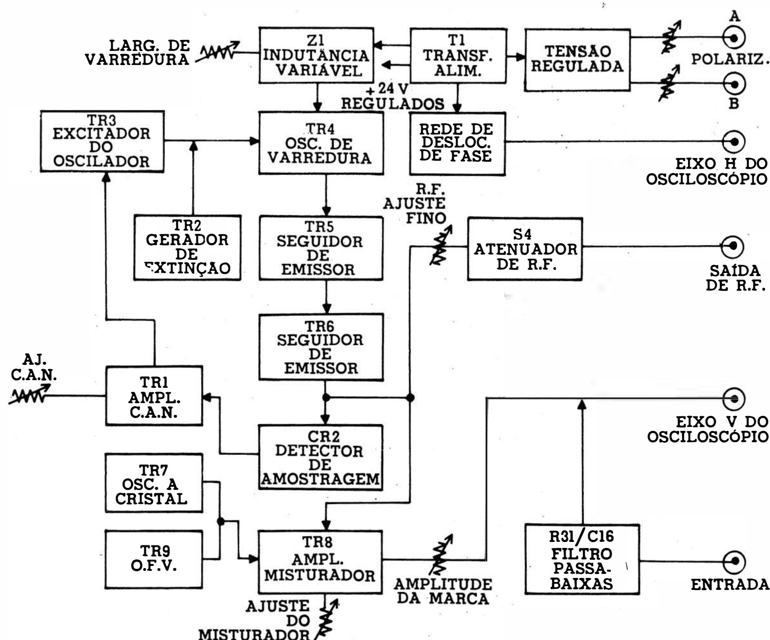


Fig. 4-32 — Diagrama de blocos do KG-687.

A fonte de alimentação compreende três fontes independentes de tensão contínua, além da saída de 60 Hz, com fase variável, para a deflexão horizontal do osciloscópio. A fonte principal de "+ B" é regulada por meio de um diodo zener, assegurando assim a estabilidade do gerador de marcas. A fonte de — 24 volts emprega o diodo CR6 e o filtro constituído por C41 e R62, sendo também regulada, através do zener CR7.

Desta fonte são obtidas duas tensões, variáveis de 0 a 20 volts, perfeitamente isoladas entre si, controladas pelos ajustes de polarização "A" e "B".

A corrente contínua de polarização do indutor saturável Z1 é fornecida pela terceira fonte, composta por CR1, C28, R42 e R43. Nas faixas A e B, R43 é posta em curto para aumentar a corrente de polarização. O divisor constituído por R104 e R44 fornece a componente variável da corrente do indutor saturável, através de C27. R104 permite que o desvio de freqüência seja ajustado desde zero até o máximo. Um filtro em pi, equilibrado, serve para reduzir a irradiação espúria pela rede de alimentação.

QUESTIONÁRIO

4- 1 — Que é um sinal contínuo?

4- 2 — Que é um sinal modulado?

4- 3 — Enumere três tipos de geradores de sinais, de acordo com a forma de onda produzida.

4- 4 — Esboce o circuito dos seguintes osciladores: Hartley, Colpitts e de grade e placa sintonizadas, nas versões a válvula e transistorizada.

4- 5 — Cite duas exigências para que um circuito possa oscilar.

4- 6 — Quais os dois circuitos osciladores que empregam divisores de tensão nos elementos de sintonia?

4- 7 — Descreva o processo pelo qual é obtida a rotação de fase no oscilador de grade e placa sintonizadas.

4- 8 — Para que serve um cristal em um circuito oscilador?

4- 9 — Qual o oscilador a cristal que é semelhante ao Colpitts?

4-10 — Esboce o circuito de um multivibrador e explique seu funcionamento.

4-11 — Que componentes determinam a freqüência de oscilação de um multivibrador?

4-12 — Qual o elemento de um pentodo que trabalha como placa, em um oscilador de acoplamento eletrônico?

4-13 — Qual é o oscilador R-C que utiliza uma só válvula ou transistor?

4-14 — Qual o oscilador de áudio que é muito empregado devido à pureza da forma de onda produzida?

4-15 — Qual a propriedade da onda quadrada que a torna útil para provar amplificadores de áudio?

4-16 — Descreva um processo prático para a geração de ondas quadradas.

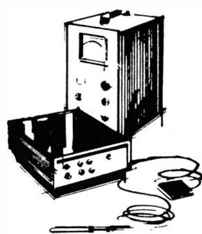
4-17 — Mostre graficamente como uma onda quadrada é afetada pelas deficiências de um amplificador.

4-18 — Qual a diferença entre uma onda quadrada e uma dente-de-serra, no que respeita ao conteúdo harmônico.

4-19 — Que é um gerador de varredura?

4-20 — Qual é a principal finalidade do gerador de varredura?

4-21 — Descreva dois processos básicos para variar a freqüência em um gerador de varredura.



5 medição de capacitância, indutância e impedância

Os serviços de manutenção de equipamento eletrônico freqüentemente exigem a medição de grandezas tais como capacitância, indutância e impedância. Existem, é claro, instrumentos elaborados e dispendiosos para esta finalidade, mas são usados apenas em laboratórios, onde as medidas feitas devem ser de grande precisão. Para o trabalho diário na bancada de serviço, as técnicas e instrumentos descritos neste capítulo são mais do que suficientes.

PROVANDO CAPACITORES

O instrumento utilizado com maior freqüência para provar rapidamente um capacitor é o *ohmímetro.* Muito embora ele não aponte todos os defeitos, nem possa medir a capacitância com precisão suficiente, ele revelará quais os componentes que apresentam fuga excessiva, curto-circuito entre as armaduras ou um lide aberto, acarretando perda completa da capacitância.

Para esta verificação, as pontas de prova do ohmímetro são ligadas aos terminais do capacitor suspeito, obtendo-se desde logo duas indicações da maior importância. A primeira é a amplitude e a duração do "salto" do ponteiro, por meio das quais podemos avaliar a capacitância; a segunda é o valor da resistência de fuga do capacitor.

No instante em que as pontas de prova são ligadas, o capacitor se comporta como um curto-circuito, já que está inicialmente descarregado; o ponteiro tende a indicar o valor de zero ohm, à direita da escala, e dá um salto nesta direção.

Antes, porém, que possa chegar lá, o capacitor já se carregou o suficiente para diminuir a corrente drenada da bateria do ohmímetro, fazendo com que o ponteiro volte à sua posição de repouso, correspondendo a resistência infinita.

A rapidez deste retorno depende da capacitância e da resistência de fuga do capacitor. Quanto menor for a capacitância, menor será o salto, a ponto de ser este praticamente imperceptível para capacitores de 1 nF para baixo. Os eletrolíticos, por outro lado, como têm capacitância elevada, levarão o ponteiro até o fundo da escala, podendo o retorno do mesmo levar vários segundos.

Se o capacitor tiver fuga muito pronunciada, ou estiver em curto-circuito, o ponteiro não voltará à sua posição de repouso, indicando, ao invés, uma resistência muito baixa ou mesmo nula. O valor da resistência indicada pelo instrumento, quando o ponteiro finalmente se detiver sobre a escala, é conhecido como *resistência de fuga*. Em alguns tipos de capacitores — como, por exemplo, os com dielétrico de ar — esta resistência é tão alta que os ohmímetros comuns a dão como infinita. A resistência de fuga dos capacitores de papel costuma ficar por volta dos 50 MΩ, embora este valor seja apenas uma ordem de grandeza. Já os capacitores eletrolíticos têm resistência de fuga relativamente baixa, sendo comum encontrar unidades com apenas 50 ou 100 kΩ.

Ao medir a resistência de fuga de um capacitor eletrolítico com o ohmímetro, é necessário tomar uma precaução importante: a ponta de prova ligada ao pólo *negativo* da bateria interna do instrumento — *que não é obrigatoriamente a ponta de prova de cor preta, correspondente ao pólo negativo do medidor* — deve ser ligada ao pólo negativo do capacitor (carcaça), sob pena de não ter significado algum a leitura feita.

Medição da capacitância pelo método da reatância

Um excelente método para a medição da capacitância consiste em utilizar uma fonte de C.A., de tensão e freqüência conhecidas, segundo o processo ilustrado na Fig. 5-1. O amperímetro, que deve ser capaz de medir C.A., indica o valor da corrente, sendo a capacitância calculada pela fórmula

$$C = \frac{I}{2\pi f E_c}$$

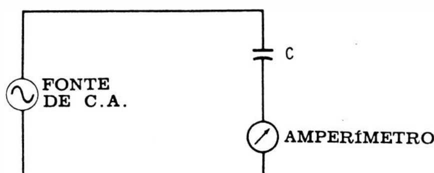


Fig. 5-1 — Método de reatância para medir a capacitância.

onde C é a capacitância, em farads, I é a corrente indicada pelo instrumento, em ampères, f é a freqüência em hertz e E_c é a tensão existente sobre o capacitor, em volts (no caso, a própria tensão da fonte utilizada).

Sendo raras as oficinas que dispõem de amperímetros de C.A., o método descrito é normalmente empregado com a variante ilustrada na Fig. 5-2, onde o amperímetro foi substituído por um voltímetro: foi colocado em série com o capacitor um resistor de valor conhecido, e basta medir a tensão sobre este resistor para conhecer a corrente no circuito; deve-se então medir a tensão sobre o capacitor, sem esquecer que a soma desta com a tensão sobre o resistor será muito maior do que a tensão total aplicada. Vejamos um exemplo:

No circuito da Fig. 5-2, a fonte de tensão utilizada foi a própria rede de alimentação, com 117 volts e freqüência de

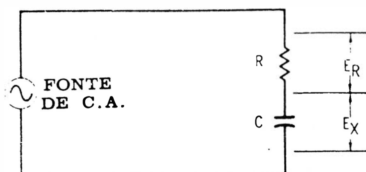


Fig. 5-2 — Utilização de um resistor em série no método de reatância.

60 Hz. O resistor tem 5 kΩ, sendo medidos 75 volts sobre o mesmo e 90 volts sobre o capacitor.

Conseqüentemente, a corrente no circuito é igual a 75/5.000 = 15 mA; a capacitância será:

$$C = \frac{I}{2\pi f E_c} = \frac{0{,}015}{2 \times 3{,}14 \times 60 \times 90} = 440 \text{ nF}$$

A resistência de fuga do capacitor foi desprezada, o que traz sérias limitações ao emprego deste método. Com ele, também não é possível medir capacitores eletrolíticos, os quais são polarizados e não podem ser submetidos a tensões alternadas.

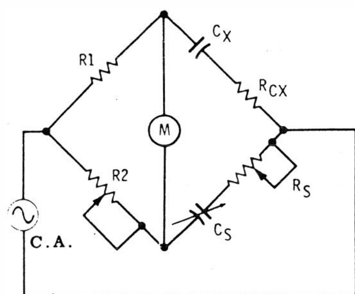
Ponte para a medida de capacitância

A Fig. 5-3A ilustra o emprego de um circuito em ponte para a medida de capacitância. O circuito da Fig. 5-3B é o mesmo, tendo apenas sido acrescentada uma bateria para a medição de capacitores eletrolíticos. Nos dois circuitos, a capacitância desconhecida foi representada por C_x e sua resistência de fuga por R_{cx}.

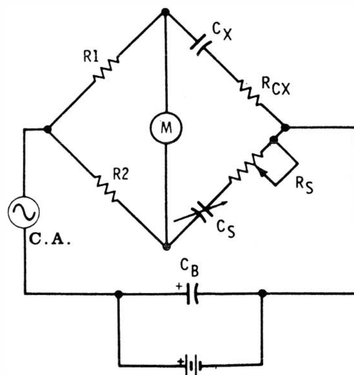
A fonte de tensão alternada é ligada a uma das diagonais da ponte, sendo o indicador de nulo — que tanto pode ser um par de fones, um medidor ou mesmo uma válvula tipo olho mágico — ligado à outra diagonal. Os resistores R1 e R2 são os multiplicadores da ponte, sendo normalmente escolhidos com o mesmo valor. R_s e C_s representam os padrões de medição da ponte: são ambos variáveis, e seus valores podem ser lidos a qualquer instante nas escalas calibradas existentes na painel do instrumento.

Ligado o capacitor desconhecido à ponte, R_s e C_s devem ser ajustados até que o indicador indique leitura nula. Quando isto ocorrer, a ponte estará equilibrada, e os valores de capacitância e resistência de fuga procurados poderão ser lidos nas escalas calibradas.

Se os resistores multiplicadores R1 e R2 não foram iguais, os valores indicados no painel do instrumento devem ser



A) Circuito básico.



B) Correção do fator de potência.

Fig. 5-3 — Circuitos em ponte para a medida da capacitância.

multiplicados pela relação entre R2 e R1, sendo normalmente esta relação um múltiplo de dez.

O *fator de mérito Q* — relação entre a resistência de fuga e a reatância de um capacitor — é freqüentemente especificado pelo fabricante. A fórmula para achar o fator de mérito é

$$Q = 2\pi f C R$$

sendo evidentemente necessário especificar a freqüência em que foi feita a medida.

MEDIÇÃO DE INDUTÂNCIA

Os dois métodos anteriormente descritos — o da reatância e o da ponte — podem perfeitamente ser usados para medir a indutância de uma bobina, devendo o segundo ser preferido quando se desejar maior precisão. A fórmula correspondente ao circuito da Fig. 5-1 deve ser modificada para

$$L = \frac{E}{2\pi f I}$$

ao passo que, no circuito em ponte da Fig. 5-3, o capacitor padrão deve ser substituído por um indutor padrão, L_s. Entretanto, como é mais fácil e mais barato obter um capacitor de precisão do que um indutor, muitas pontes comerciais utilizam o capacitor padrão para medir as duas grandezas.

O fator de mérito Q de uma bobina é definido como a relação entre a reatância e a resistência da mesma. Em altas freqüências, a resistência aparente é maior do que a real, devido ao *efeito pelicular* (tendência da corrente a circular pela periferia, em lugar de distribuir-se uniformemente por toda a seção reta do condutor).

Em indutores com núcleo ferromagnético, a indutância depende fortemente da corrente contínua no enrolamento; em geral, a primeira é inversamente proporcional à segunda, porque o núcleo tende a saturar com o aumento da corrente, reduzindo a permeabilidade.

A ponte da Fig. 5-3B, neste aspecto, proporciona melhores resultados do que a da Fig. 5-3A, uma vez que a medição pode ser feita sob diversos valores de corrente contínua, fornecida pela bateria.

Método da ressonância

A Fig. 5-4 mostra um processo para medir capacitância e indutância; para medir o valor da indutância, é indispensável conhecer a capacitância, e vice-versa. Variando-se a freqüência da fonte ou o elemento conhecido, leva-se o circuito à ressonância, que será indicada pela máxima corrente

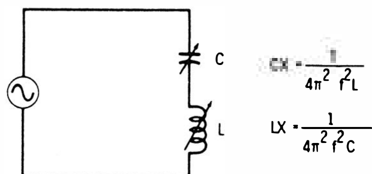


Fig. 5-4 — Princípio da ressonância

no circuito. A indutância ou capacitância desconhecida poderá, então, ser calculada pelas fórmulas extraídas da fórmula básica da ressonância série:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \qquad C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

UM PROVADOR DE CAPACITORES

O instrumento cuja fotografia está na Fig. 5-5 pode medir capacitância, resistência de fuga, curtos, interrupções, podendo também ser usado para medir indutância, resistência e relação de espiras em transformadores. O circuito básico, que se vê na Fig. 5-6, consiste em uma ponte de C.A., alimentada por uma fonte interna de 12 V C.A. ou por um gerador de sinais externo capaz de fornecer 10 volts, em freqüências até 10 kHz. As cinco faixas de medição de capacitâncias permitem medir valores de 10 pF até 1.000 μF; os limites para a medição de resistência são de 5 ohms e 50 MΩ. O instrumento utiliza como indicadora de nulo uma válvula ôlho mágico.

A descrição do funcionamento deste provador de capacitores, que é o modelo IT-11 da Heathkit, foi adaptada do manual de instruções do fabricante.

O potenciômetro R13 é o controle de equilíbrio da ponte. Se considerarmos a parte da resistência acima do cursor como R13A, e a parte abaixo do mesmo como R13B, o equilíbrio da ponte será obtido quando a relação entre R13A e R13B fôr

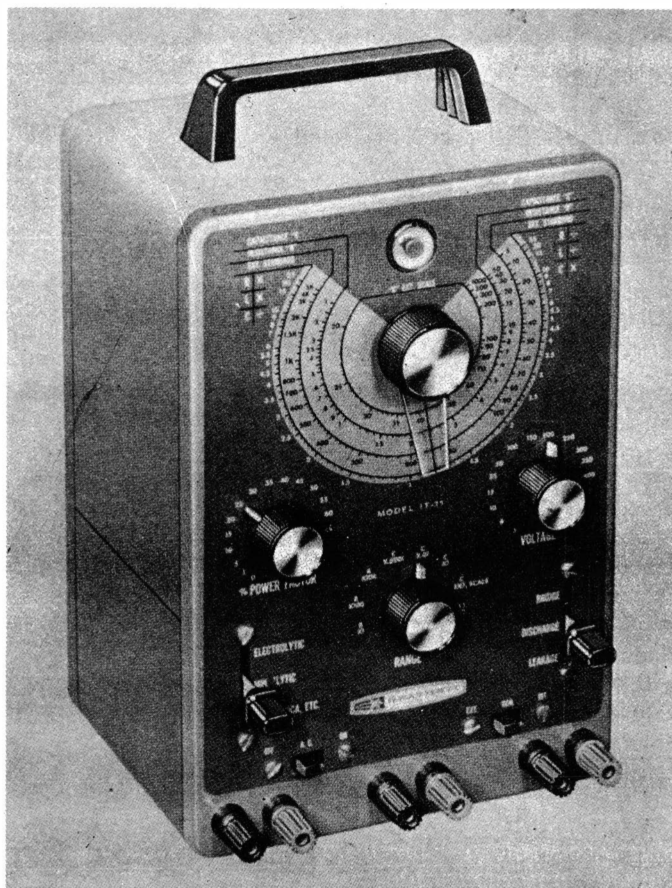


Fig. 5-5 — Um provador de capacitores.

igual à relação entre a resistência desconhecida, R_x, e o resistor padrão da ponte, R_s. O instrumento dispõe de um ponteiro solidário ao cursor de R13, e uma escala calibrada para indicar diretamente a relação R13A/R13B.

Quando, por exemplo, o resistor desconhecido tiver quatro vezes o valor do resistor padrão, a ponte estará equilibrada quando R13A = 800 ohms e R13B = 200 ohms, sendo sua relação de quatro para um. De maneira análoga, quando R_x for igual a R_s, o equilíbrio se dará para R13A = R13B = 500 ohms, já que o potenciômetro tem 1 kΩ de ponta a ponta.

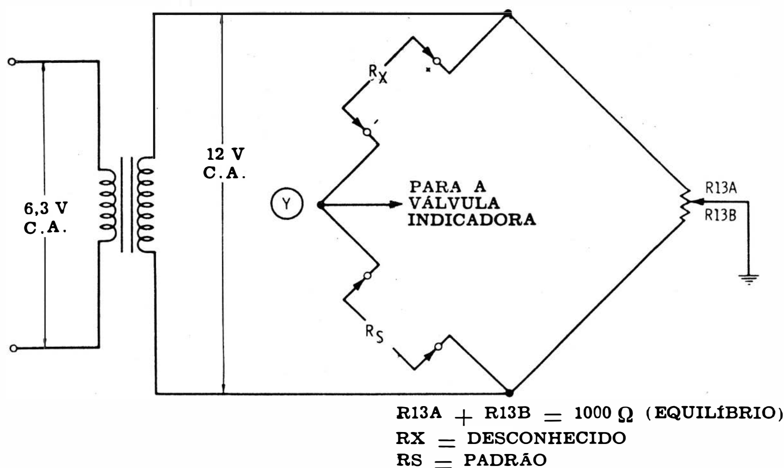


Fig. 5-6 — Circuito básico da ponte do instrumento HEATH modelo IT-11.

O equilíbrio é indicado pela abertura da sombra, no anteparo do olho mágico, pois neste momento a tensão em Y é nula ou quase nula.

Para a medição de resistências, utilizando o padrão interno R_s, o ponteiro de R13 indica diretamente, sôbre uma escala especial, o valor do resistor desconhecido.

Para a medição de capacitâncias, é utilizado um capacitor padrão C_s, interno ou externo, como se vê na Fig. 5-7;

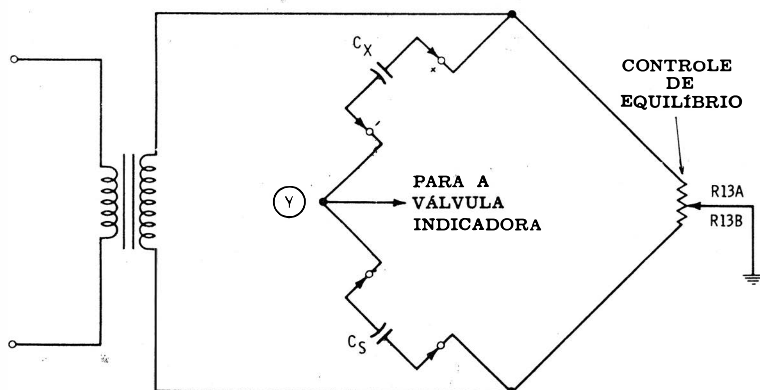


Fig. 5-7 — Ponte para a medição de baixos valores de capacitância.

com a ponte em equilíbrio, o ponteiro indicará a *relação entre as reatâncias dos capacitores* C_x e C_s. Se, por exemplo, o ponteiro parar sobre o número "2", isto significa que o capacitor desconhecido tem metade da capacitância do padrão C_s.

O controle R14, na Fig. 5-8, é usado nas faixas de capacitância mais altas para compensar o efeito da resistência em série dos capacitores eletrolíticos. Assim, para medir estes capacitores, tanto R13 quanto R14 devem ser ajustados para obter o equilíbrio da ponte. O mostrador de R14 indicará então o *fator de potência* do capacitor, que é o inverso do fator de mérito Q anteriormente discutido, podendo a resistência em série do capacitor eletrolítico ser obtida da fórmula

$$R(\text{série}) = \frac{\text{F.P.}}{2 \pi f C}$$

onde F.P. representa o fator de potência.

Suponhamos, por exemplo, que um capacitor de 2 μF tem fator de potência igual a 5%, ou seja, 0,05, na freqüência de 60 Hz. A resistência em série deste capacitor será de aproximadamente 66 ohms.

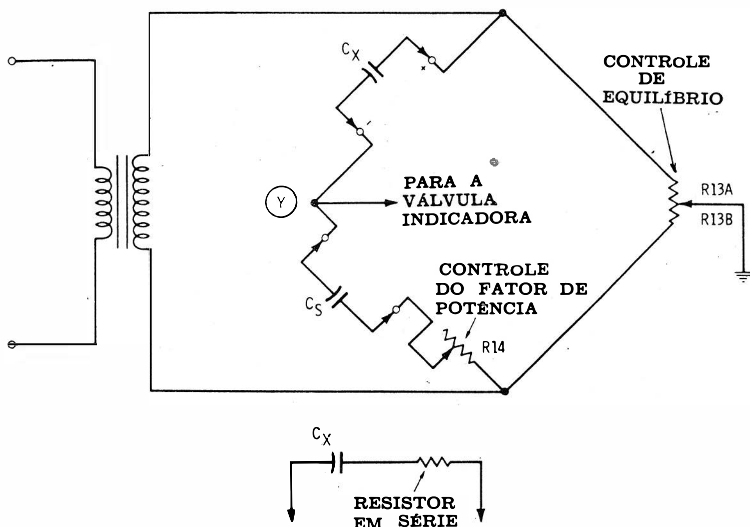


Fig. 5-8 — Ponte para a medição de capacitâncias de alto valor.

Como o mostrador de R14 foi calibrado na freqüência de 60 Hz, sempre que for usado um gerador externo com freqüência diferente o fator de potência indicado deve ser multiplicado pela relação entre a freqüência utilizada e a de 60 Hz. Assim, se a freqüência de medição for 120 Hz, e o instrumento indicar um fator de potência de 5%, o valor real desta grandeza será 0,05 × 120/60, ou seja, 10%.

A Fig. 5-9 mostra como se pode expandir a escala de capacitâncias, acrescentando um resistor de 9 kΩ, R34, em série com o controle de equilíbrio R13. A relação entre R13A e

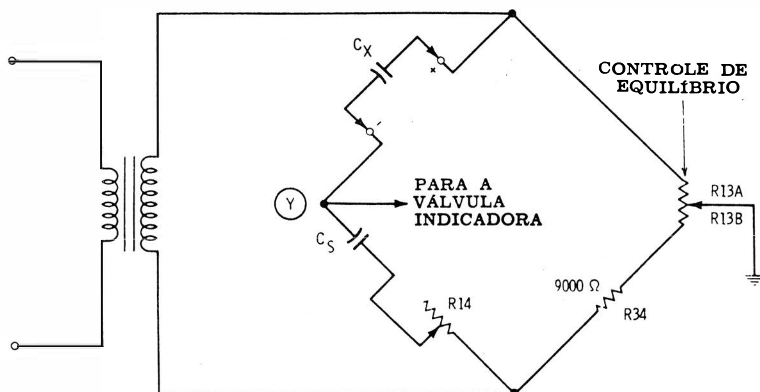


Fig. 5-9 — Ponte com faixa ampliada de capacitâncias.

R13B, que agora inclui os 9 kΩ de R34, passará a ser de um para dezenove, quando o ponteiro estiver no centro da escala. Com um capacitor padrão C_s de 2 μF, o centro da escala equivalerá a 38 μF.

O instrumento dispõe de duas escalas calibradas para medir capacitâncias: uma é usada com a faixa expandida, e a outra com as faixas de C × 1, C × 0,01 e C × 0,0001.

Para a medição de indutâncias, o circuito utilizado é o da Fig. 5-10, sendo necessário utilizar um indutor padrão externo. Com a ponte em equilíbrio, a relação indicada no mostrador é igual à relação entre a reatância desconhecida e a reatância do indutor padrão. Para que possa ser medido nesta ponte, é necessário que o indutor tenha uma resistência aproximadamente igual à do indutor padrão, uma vez que o controle R14 não entra no circuito quando se utilizam padrões externos.

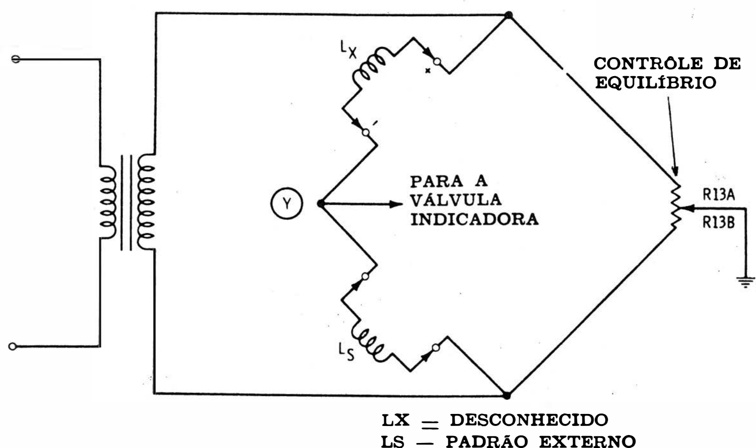


Fig. 5-10 — Para a medição de indutâncias, é necessário um padrão externo.

A Fig. 5-11 mostra o circuito da válvula indicadora. Quando a ponte não está equilibrada, existe uma tensão alternada no ponto Y que é aplicada à grade do primeiro estágio amplificador, V2A. Da placa desta válvula, o sinal vai para o retificador — dobrador de tensão, composto por V2B, V2C, C3 e C4. A tensão negativa resultante é aplicada à grade do olho mágico, V3, reduzindo o ângulo de sombra. Quando a ponte estiver

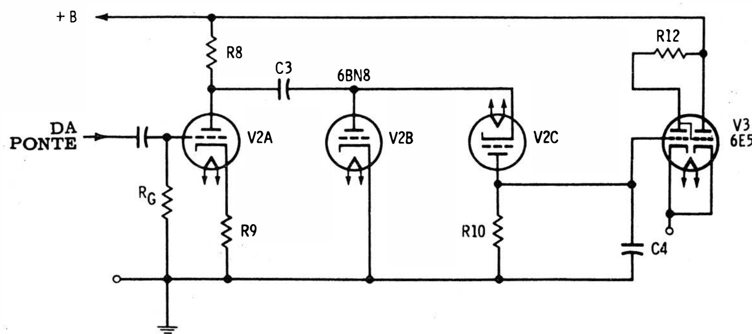


Fig. 5-11 — Circuito da válvula indicadora do HEATH modelo IT-11.

em equilíbrio a tensão em Y será nula e não haverá tensão na grade de V3 fazendo com que o ângulo de sombra aumente.

Para medir a corrente de fuga de um capacitor, é usado o circuito da Fig. 5-12, com V2A como amplificadora de C.C.

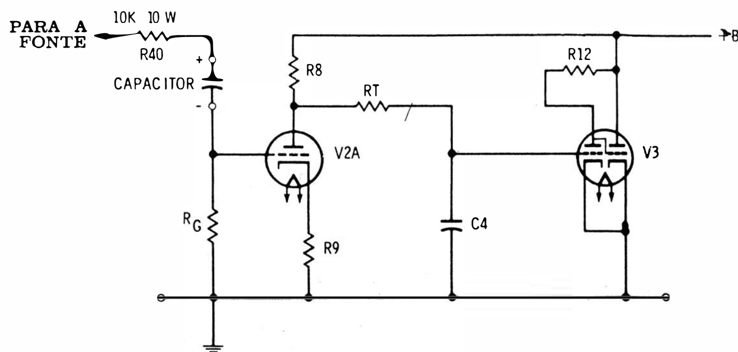


Fig. 5-12 — Circuito para a verificação da fuga do capacitor.

A tensão da fonte de alimentação é aplicada ao capacitor através do resistor R40, de 10 kΩ, e a corrente de carga passará pelo resistor de grade de V2A, R_G. A tensão sobre este resistor fará com que V2A conduza, porque a grade se tornará positiva em relação ao catodo; a área sombreada de V3 diminuirá, porque a tensão de placa de V2A cairá. Quando o capacitor estiver completamente carregado, cessará o fluxo de corrente por R_G, acarretando a abertura da sombra em V3. Se o capacitor tiver fuga, continuará a passar corrente por R_G, e o ângulo de sombra permanecerá fechado, indicando esta condição.

Para evitar choques perigosos, existe uma chave no painel do instrumento que permite curto-circuitar o capacitor, depois de ter sido verificada a fuga do mesmo. A Fig. 5-13 mostra o circuito usado: o capacitor se descarrega através de R40 e R36, mantendo o ângulo de sombra fechado durante a descarga devido à tensão desenvolvida sobre R36.

A Fig. 5-14, finalmente, apresenta o circuito completo do provador; a fonte de alimentação utiliza uma 6AX4 como retificadora, sendo o primário do transformador protegido por um fusível. Na saída do filtro, existe um divisor de tensão para proporcionar as tensões adequadas ao circuito.

PROVADOR DE CAPACITORES NO CIRCUITO

O provador da Fig. 5-15, cujo diagrama esquemático está na Fig. 5-16, foi especialmente projetado para provar capacitores suspeitos *sem retirá-los do circuito*. Uma das desvantagens desta situação consiste na impossibilidade de avaliar com precisão a fuga dos capacitores, porque o circuito a que

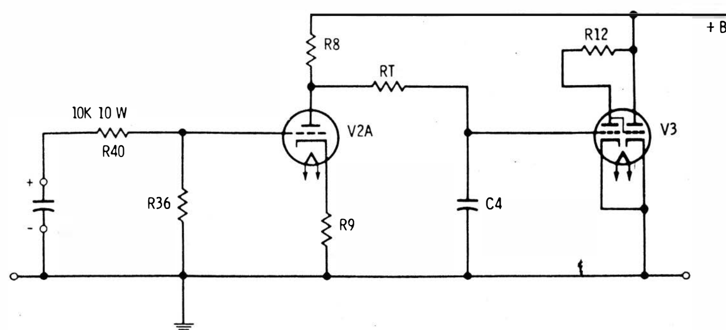


Fig. 5-13 — Circuito usado para a descarga do capacitor.

êles estão ligados pode apresentar percursos em paralelo que falseiem a leitura. O aparelho, entretanto, é útil para indicar o valor da capacitância, apontando também unidades abertas ou em curto. A faixa de medição de capacitância vai de 100 nF a 50 μF, e o instrumento pode provar também capacitores eletrolíticos.

A Fig. 5-17 traz um diagrama simplificado do circuito de medida da capacitância, que utiliza uma ponte de Wien. A parte superior do circuito constitui o indicador de nulo, e a parte inferior uma ponte de comparação série-paralelo.

Quando a ponte estiver equilibrada, a tensão transmitida por C7 à grade de V1 é nula, e a corrente de placa desta válvula é alta. Em conseqüência, as duas faixas luminosas da válvula indicadora, V2, ficam fechadas.

Quando a tensão for diferente de zero na grade de V1, as faixas luminosas se afastam, indicando o desequilíbrio da ponte.

O circuito da ponte é um pouco diferente dos anteriores. Aqui, o potenciômetro de equilíbrio fica ligado em série com o capacitor padrão apenas para valores muito altos de capacitância ou para um fator de potência muito baixo. Em caso contrário, o potenciômetro fica em paralelo com o padrão interno, permitindo desta forma que seja medido com precisão o valor de um capacitor que tenha, em paralelo, um resistor de valor reduzido.

PROVANDO CAPACITORES COM O VOLTÍMETRO ELETRÔNICO

Quando não se dispõe de um provador que possa medir a corrente de fuga de um capacitor, pode-se avaliar aproxi-

V1
6AX4

117 VAC
50-60 ~

1/2 AMP
SLOW-BLOW
FUSE

#54-34
POWER
TRANSFORMER

SWITCHES ARE IN THE POSITIONS SHOWN BY THE FRONT PANEL MARKINGS.

ALL RESISTORS ARE 1/2 WATT UNLESS SHOWN OTHERWISE.

ALL RESISTOR VALUES ARE IN Ω (K = 1000 Ω, MEG. = 1,000,000 Ω).

ALL CAPACITOR VALUES ARE IN μfd UNLESS OTHERWISE SHOWN.

ALL VOLTAGES ARE FROM POINT INDICATED TO CHASSIS GROUND. (EXCEPT AC VOLTAGES ON POWER TRANSFORMER WINDINGS.) READINGS WERE TAKEN WITH AN 11 MEGOHM INPUT VTVM.

POWER FACTOR

FRONT
WAFER

RANGE SWITCH

PAPER, MICA, ETC.

NON-LYTIC

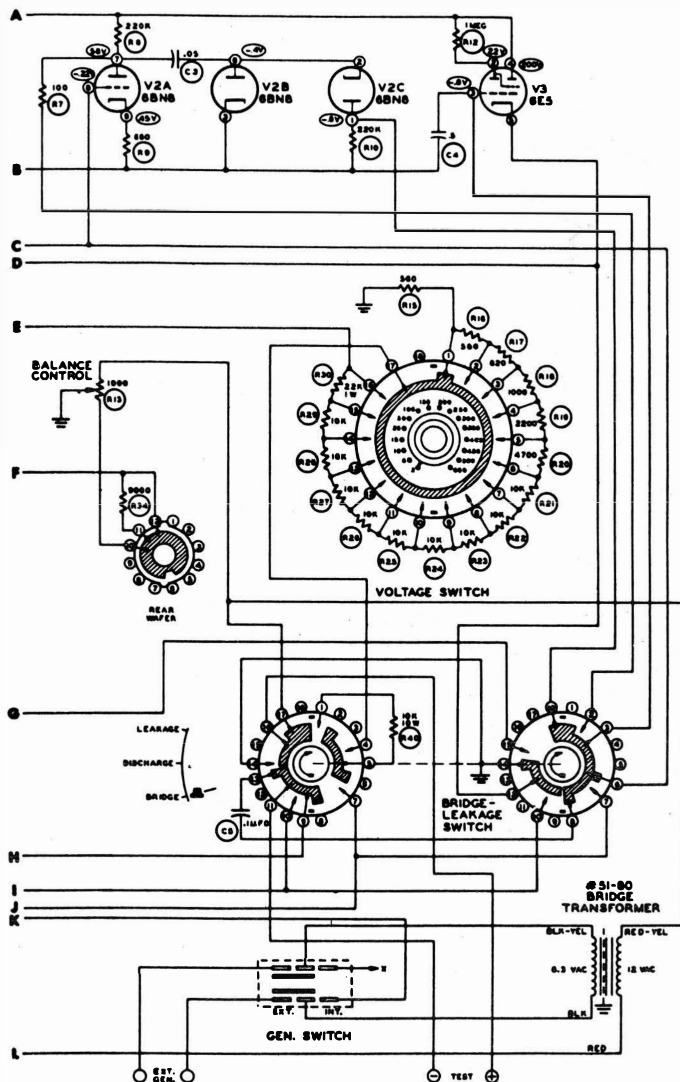
ELECTROLYTIC

TYPE
SWITCH

OFF AC ON
POWER SWITCH

EXT.
STD.

Fig. 5-14 — Diagrama esquemático completo do provador HEATH IT-11.



A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
V2A
6BN6
V2B
6BN6
V2C
6BN6
V3
6E5
BALANCE CONTROL
REAR WAFER
VOLTAGE SWITCH
LEAKAGE
DISCHARGE
BRIDGE
BRIDGE-LEAKAGE SWITCH
#51-80 BRIDGE TRANSFORMER
6.3 VAC
12 VAC
GEN. SWITCH
EXT.
INT.
TEST



Fig. 5-15 — O modêlo 955 da EICO pode provar capacitores sem retirá-los do circuito.

madamente o seu valor com o auxílio de um V.E. ou mesmo de um multímetro que tenha sensibilidade de 20.000 ohms por volt ou maior.

Para efetuar o teste, é necessário dispor também de uma fonte de tensão contínua que forneça aproximadamente a tensão de trabalho especificada para o capacitor. Mede-se primeiro a tensão exata da fonte com o instrumento, procurando usar uma faixa tal que a leitura fique o mais pró-

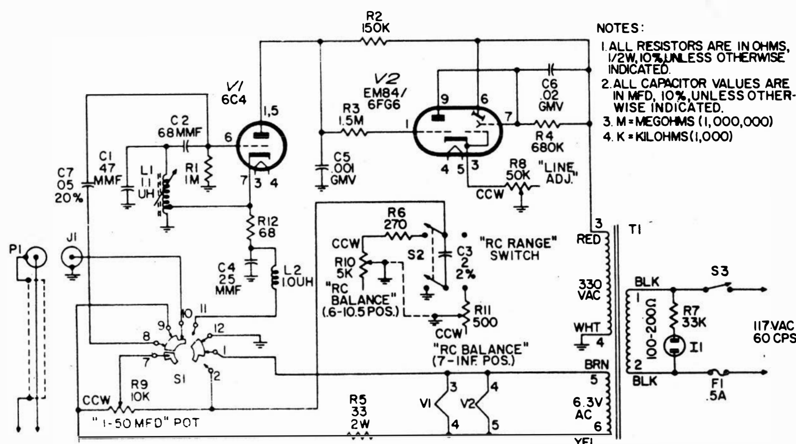


Fig. 5-16 — Diagrama esquemático do provador EICO modelo 955.

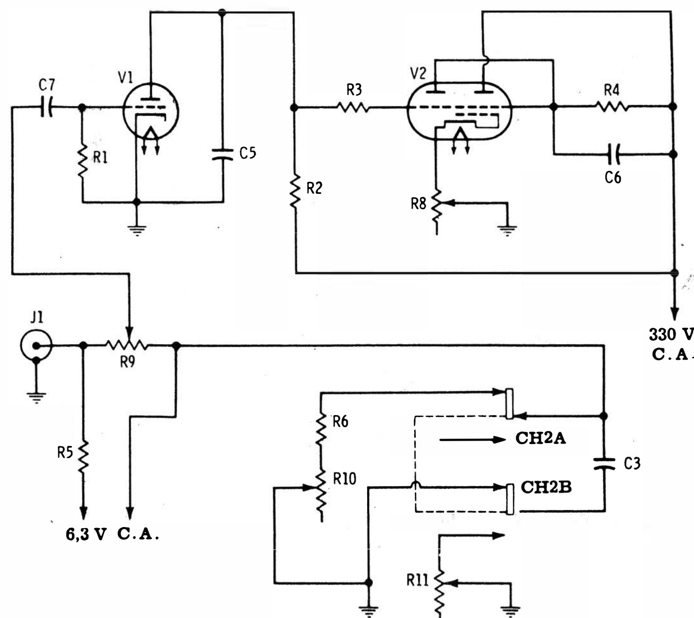


Fig. 5-17 — Circuito simplificado do EICO 955.

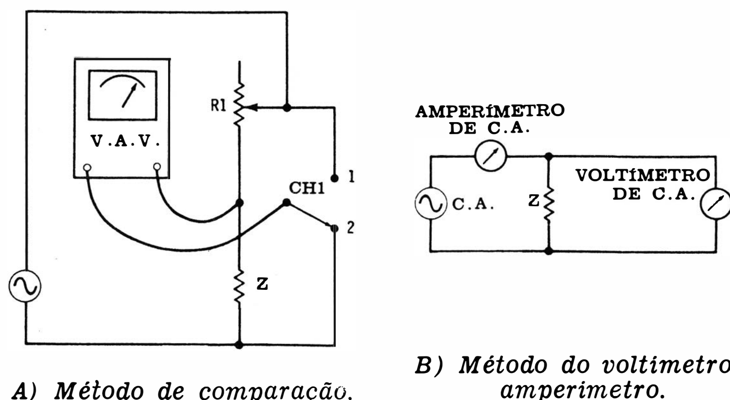
xima possível do fundo da escala. A seguir, desliga-se a fonte e intercala-se o capacitor em série com o medidor, ligando novamente a fonte. O ponteiro deverá defletir rapidamente para a direita, voltando em seguida à posição de repouso se o capacitor não apresentar fuga.

Se o componente estiver em curto, evidentemente o instrumento tornará a indicar a tensão da fonte; e se ele apresentar fuga, o ponteiro indicará um valor qualquer sobre a escala, sendo tanto maior a fuga (ou seja, menor a resistência de fuga) quanto maior a indicação do ponteiro.

Depois de efetuada a verificação, e *antes* de desligar a fonte, desligue uma das pontas de prova do voltímetro, para evitar que o capacitor se descarregue sobre ele quando a tensão da fonte cair a zero. Tome cuidado também para não levar um choque desagradável e perigoso...

MEDIDA DE IMPEDÂNCIA

A Fig. 5-18A ilustra um processo muito usado para medir a impedância de um elemento passivo (isto é, que não



A) Método de comparação. *B) Método do voltímetro-amperímetro.*

Fig. 5-18 — Determinação do valor da impedância.

disponha de bateria ou outra fonte de alimentação qualquer). A impedância desconhecida, assinalada com a letra Z, é ligada em série com um resistor variável, R1, sendo o circuito alimentado por uma fonte de tensão alternada de freqüência conveniente. A seguir, ajusta-se o cursor de R1 até que as leituras de tensão feitas sobre este resistor e a impedância desconhecida sejam iguais. Bastará, então, retirar R1 do circuito e medi-lo: o valor da impedância será o mesmo de R1. Na figura, foi utilizada uma chave de um pólo e duas posições para facilitar a troca de posição da ponta de prova do voltímetro.

O método ilustrado na Fig. 5-18B apresenta a desvantagem de exigir um amperímetro para C.A.: este é ligado em série e o voltímetro em paralelo com a impedância desconhecida, sendo então seu valor determinado com o auxílio da lei de Ohm.

O primeiro método é freqüentemente utilizado para a medição da impedância de um alto-falante ou outro transdutor, e para a aferição da impedância de entrada de amplificadores e equipamentos semelhantes.

Para a medição da impedância de saída de um amplificador ou gerador, por exemplo, deve ser adotada a disposição da Fig. 5-19: mede-se primeiro a tensão de saída em circuito aberto, e a seguir, depois de ligado o resistor variável R1, deve o mesmo ser ajustado para que a tensão caia exatamente à metade. A impedância interna do equipamento será, neste momento, igual à resistência de R1, bastando medi-lo para conhecer este valor.

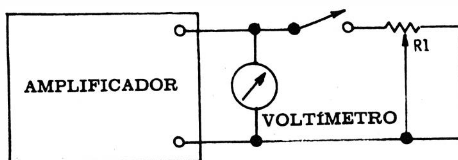


Fig. 5-19 — Medição da impedância de saída de um amplificador.

Uma palavra de advertência: o processo descrito não deve ser usado para medir a impedância de saída de fontes de baixa resistência interna, como sejam uma bateria, uma fonte de alimentação, etc., devido à enorme dissipação de potência que teria de suportar o resistor R1.

Uma ponte de impedâncias

Sempre que não seja necessário saber se a impedância é resistiva ou reativa, os métodos ilustrados na Fig. 5-18 podem ser usados. Em alguns casos, entretanto, é imprescindível saber qual a componente resistiva e qual a reativa, além do sinal desta última — se é indutiva ou capacitiva. Isto ocorre, por exemplo, com transmissores, redes de casamento de impedâncias, linhas de transmissão e antenas.

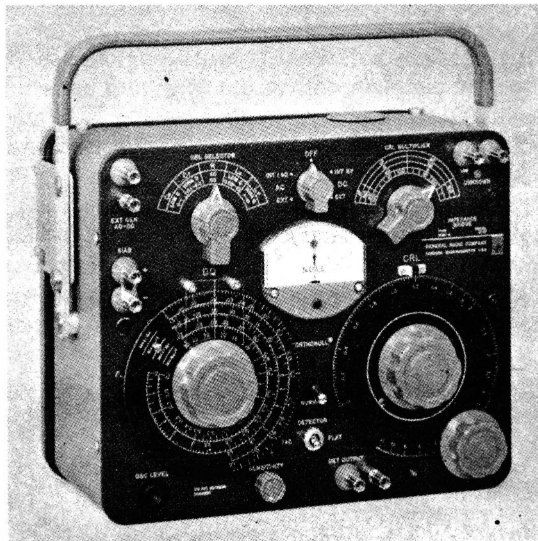


Fig. 5-20 — Ponte de impedâncias da GENERAL RADIO, modelo 1650-A.

A ponte de impedâncias, vista na Fig. 5-20, resolve o problema. O modelo ilustrado na figura apresenta cinco circuitos em ponte para a medição precisa de capacitância, indutância e resistência. O instrumento dispõe, internamente, de uma fonte capaz de fornecer 6 volts C.C., além de um gerador de sinais de 1 kHz. As oito faixas para a medida de resistências indicam valores entre um milésimo de ohm e 10 MΩ; as sete faixas de capacitância cobrem desde 1 pF até 1.000 μF, e podem ser medidas indutâncias de 1 μH a 1.000 H. O fator de potência dos capacitores pode ser medido entre 0,001 e 1, na freqüência de 1 kHz, para resistência em série, e entre 0,1 e 50, para resistência em paralelo. Para indutâncias, podem ser medidos fatores de potência entre 0,02 e 10, para resistência em série, e entre 1 e 1.000, para resistência em paralelo. Se for necessário, pode ser usado também um gerador de sinais externo, entre 20 Hz e 20 kHz. O instrumento dispõe de um medidor para indicar o equilibrio da ponte, mas também é possivel usar, além dele, um par de fones para obter maior precisão, especialmente nos extremos das faixas de medição.

O mostrador da esquerda indica o fator de potência e o Q, enquanto que o da direita, em conjunto com os multiplicadores de R, L e C, indica os valores de indutância, capacitância e resistência.

QUESTIONARIO

5- 1 — Descreva o processo de teste de um capacitor com um ohmímetro.

5- 2 — A resistência de fuga de um capacitor eletrolitico é alta ou baixa, em comparação com outros tipos de capacitores?

5- 3 — Que cuidado deve ser tomado ao provar um capacitor eletrolítico com um ohmimetro?

5- 4 — Descreva o processo da reatância para a medição de um capacitor.

5- 5 — Que significa a expressão "fator de mérito"?

5- 6 — Qual é a fórmula da reatância indutiva?

5- 7 — Como se calcula o "Q" de um indutor?

5- 8 — Qual a fórmula que permite o cálculo da capacitância, quando se conhece a indutância e a freqüência de ressonância do conjunto?

5- 9 — Por que se deve medir a resistência de fuga de um capacitor sob uma tensão aproximadamente igual à tensão de trabalho deste?

5-10 — Que é efeito pelicular?



6 osciloscópios

Segundo uma opinião geralmente aceita, o mais importante e sofisticado instrumento de teste eletrônico é o osciloscópio. Além de ser utilizado para observar visualmente formas de onda e medir tensão e freqüência, este versátil instrumento vem encontrando diversas aplicações em campos industriais e científicos não eletrônicos, para a medição e observação de inúmeras grandezas físicas que são convertidas em impulsos elétricos.

TIPOS DE OSCILOSCÓPIOS

Existem inúmeros modelos de osciloscópios, desde os de uso geral até as custosas unidades projetadas especificamente para aplicações especiais. O instrumento mostrado na Fig. 6-1, por exemplo, pode ser usado em qualquer aplicação em que a freqüência do sinal observado não ultrapasse 300 kHz.

A grande maioria dos osciloscópios, com tela de 12 cm de diâmetro, é alimentada pela rede e pesa 20 quilos ou mais. Existem, entretanto, unidades portáteis, de pequeno tamanho e peso reduzido, geralmente utilizando transistores em lugar de válvulas. A Fig. 6-2 apresenta um modelo que pode ser alimentado por baterias, pesando apenas 5 quilos e com uma tela de 7 cm de diâmetro.

Alguns fabricantes, como a EICO e a HEATHKIT, fornecem osciloscópios para uso geral, de faixa larga e custo moderado, sob forma de "kits", como os modelos ilustrados nas Figs. 6-3 e 6-4. Estes instrumentos, evidentemente, podem também ser adquiridos já montados e prontos para funcionar.

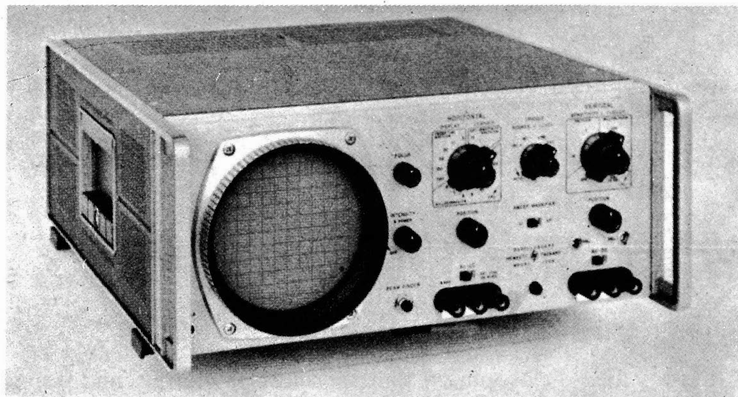


Fig. 6-1 — Osciloscópio de uso geral da HEWLETT-PACKARD, modelo 120-B.

Princípios de funcionamento dos osciloscópios

Um T.R.C. moderno (das iniciais de *"tubo" de raios catódicos,* embora fosse mais adequado empregar a palavra "válvula" em lugar de "tubo"), como se vê na Fig. 6-5, é constituído por uma base, culote, pescoço, bulbo e tela. Estas três

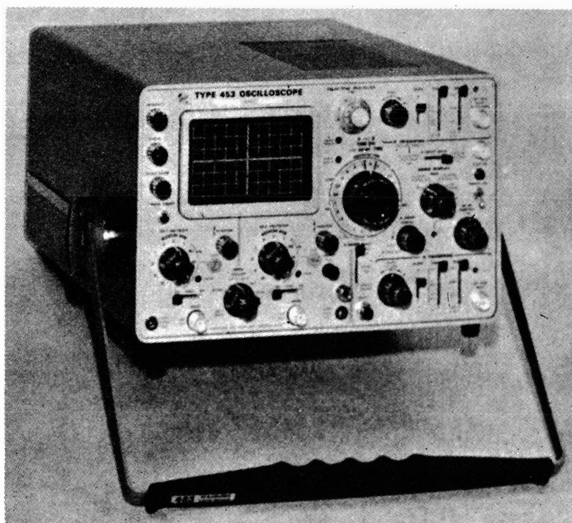


Fig. 6-2 — Osciloscópio portátil transistorizado da TEKTRONIX, modelo 453.

últimas partes são de vidro, muito embora existam cinescópios (nome pelo qual também são conhecidos os T.R.C.) com o bulbo metálico. Os pinos da base permitem a ligação dos eletrodos da válvula ao circuito externo, sendo normalmente utilizados soquetes de 8 e 12 pinos.

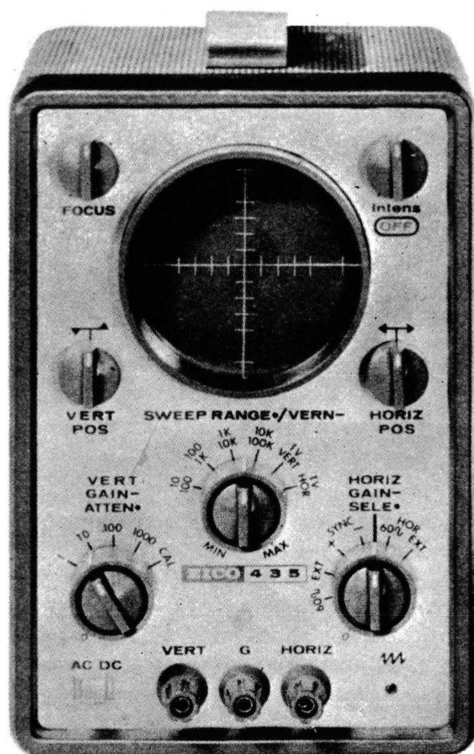


Fig. 6-3 — Osciloscópio de faixa larga da EICO, modelo 435.

O canhão eletrônico, que é o coração do cinescópio, fica alojado dentro do pescoço, consistindo em um catodo que emite eléctrons quando aquecido pelo filamento, uma grade de controle e um anodo cilíndrico que recebe uma tensão positiva elevada, encarregando-se de atrair os eléctrons do catodo e alinhá-los em um feixe estreito. Fazem parte, ainda, do canhão eletrônico, dois conjuntos de placas defletoras Um deles serve para defletir o feixe eletrônico na direção horizontal, e o outro na vertical.

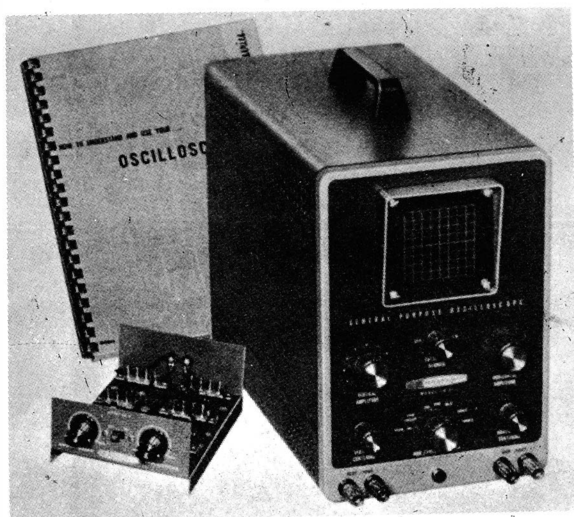
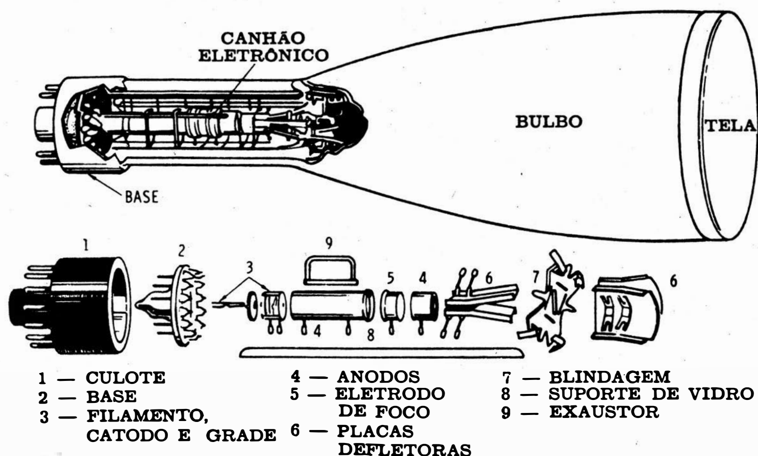


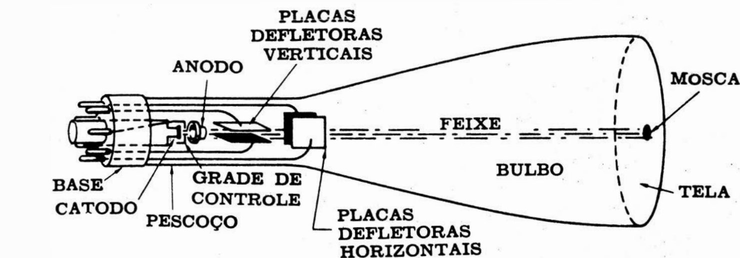
Fig. 6-4 — Osciloscópio modelo 10-21, da HEATHKIT.

O feixe de eléctrons, partindo do catodo, passa pela grade de controle, pelo anodo cilíndrico e pelas placas defletoras, atingindo então a tela do T.R.C. A superfície interna da tela é coberta com material fluorescente (impropriamente chamado *fósforo*), que emite luz no ponto em que for atingido pelo feixe. Os T.R.C. modernos têm o anodo dividido em duas partes: a primeira é o *anodo focalizador,* localizada mais perto do catodo do que a segunda, que é o *anodo acelerador*. Ajustando adequadamente as tensões destes dois eletrodos, obtém-se o melhor foco, que corresponde às menores dimensões do ponto luminoso. Os osciloscópios normalmente dispõem também de um ajuste externo da tensão de polarização da grade de controle, que atua sobre a luminosidade do ponto na tela.

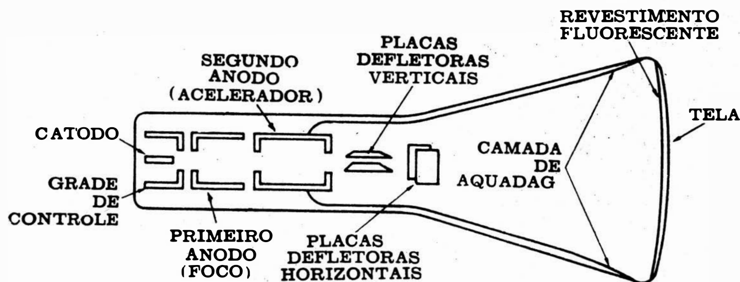
O diagrama simplificado de um T.R.C., visto na Fig. 6-5C, mostra que a parte interna do bulbo é recoberta com uma película de carvão, chamada de *aquadag*. O aquadag é ligado eletricamente ao primeiro anodo ou anodo focalizador. Este revestimento condutor tem a finalidade de coletar os eléctrons deslocados da tela fluorescente pelo bombardeio do feixe eletrônico: se isto não fosse feito, os eléctrons permaneceriam nas proximidades da tela, em movimento aleatório,



A) Vista em corte.



B) Estrutura básica.



C) Diagrama simplificado.

Fig. 6-5 — Um tubo de raios catódicos moderno.

produzindo uma luminosidade de fundo que reduziria o contraste e a definição.

Quando não há tensão aplicada às placas defletoras, o feixe eletrônico atinge a tela aproximadamente no centro. Se for aplicada a uma das placas uma tensão positiva, o feixe, que é constituído por eléctrons em movimento, será atraido por esta placa, e o ponto na tela deslocar-se-á nesta direção. Uma tensão negativa provocará efeito oposto, repelindo os eléctrons e afastando o feixe da placa respectiva.

Se for aplicada uma tensão senoidal de freqüência não muito baixa às placas de deflexão vertical, o ponto na tela deslocar-se-á rapidamente para cima e para baixo. Devido à rapidez do movimento e à persistência da luminosidade na tela, aparecerá nesta uma linha vertical contínua, como a mostrada na Fig. 6-6. Se, agora, for ligada às placas de deflexão horizontal uma tensão dente-de-serra, o feixe será deslocado de maneira linear na direção horizontal, concomitan-

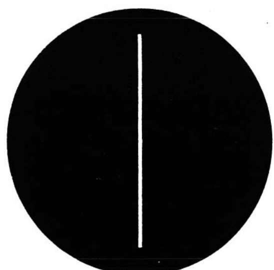
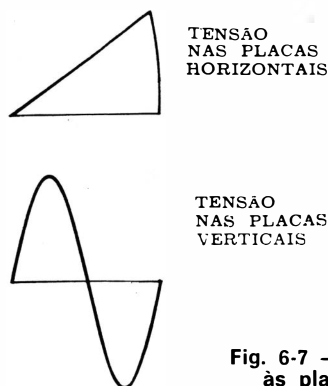


Fig. 6-6 — Figura resultante da aplicação de uma tensão unicamente às placas defletoras verticais.

temente com o seu movimento vertical. O resultado será o ilustrado na Fig. 6-7: a tensão senoidal aplicada às placas defletoras verticais será desenhada na tela. Para que isto aconteça, é necessário, contudo, que a tensão dente-de-serra inicie o seu movimento ascendente exatamente no mesmo instante em que se inicia um novo ciclo da senóide, já que os dois sinais se repetem indefinidamente.

Em todos os osciloscópios, as placas defletoras horizontais são ligadas de tal maneira que o movimento linear de deflexão se dá da esquerda para a direita, sendo este movimento chamado de *traço* ou *movimento direto*. O movimento de volta recebe então o nome de *retraço* ou *movimento de retôrno*.

A Fig. 6-8 mostra o que acontece quando os dois sinais aplicados às placas defletoras são trocados entre si, ou seja,



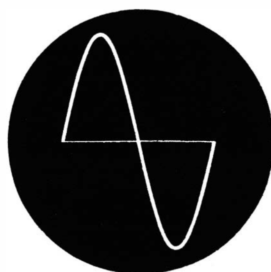
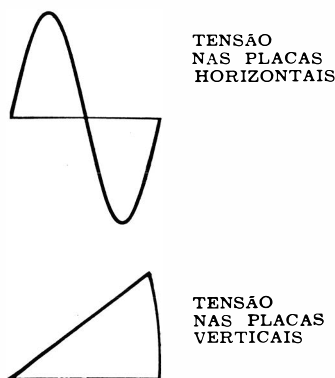


Fig. 6-7 — Figura obtida quando se aplica tensão às placas defletoras verticais e horizontais.

a tensão senoidal é aplicada às placas defletoras horizontais e a dente-de-serra às verticais. Embora um osciloscópio normalmente não seja empregado desta maneira, a compreensão clara do que ocorre com esta inversão ajudará o leitor a entender o porquê de outras combinações de sinais.



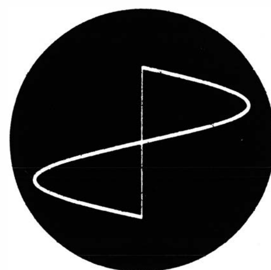
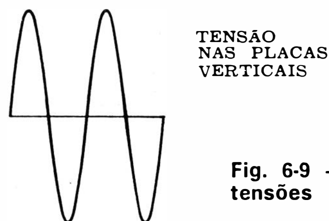


Fig. 6-8 — Aplicação de uma senóide às placas horizontais e de um dente-de-serra às verticais.

Na Fig. 6-9, pode-se ver dois ciclos completos da senóide na tela, aparecendo ao lado as tensões aplicadas às placas defletoras. A freqüência do sinal aplicado às placas defletoras verticais é duas vezes maior do que a freqüência do dente-de-serra da deflexão horizontal; quando ela for apenas *metade* desta freqüência, a figura na tela terá o aspecto ilustrado na Fig. 6-10, sendo a parte positiva da senóide traçada durante a subida de um ciclo do dente-de-serra e a parte negativa durante a subida do outro.





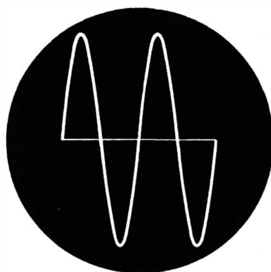
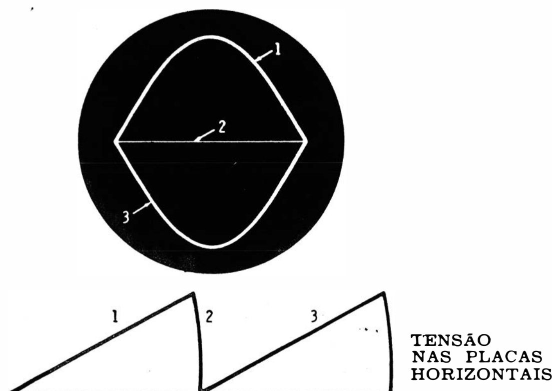


Fig. 6-9 — Figura obtida quando se invertem as tensões aplicadas às placas defletoras do caso anterior.

A figura circular da Fig. 6-11 é obtida quando duas ondas senoidais, de mesma amplitude e freqüência, mas defasadas de 90º, são aplicadas às placas defletoras verticais e horizontais. Na realidade, para que o circulo fosse perfeito, a amplitude do sinal aplicado às placas defletoras horizontais deveria ser ligeiramente maior do que a do aplicado às



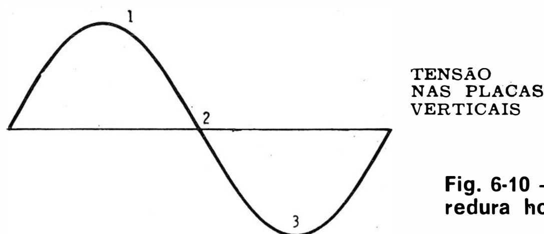


Fig. 6-10 — A freqüência de varredura horizontal é o dobro da vertical.

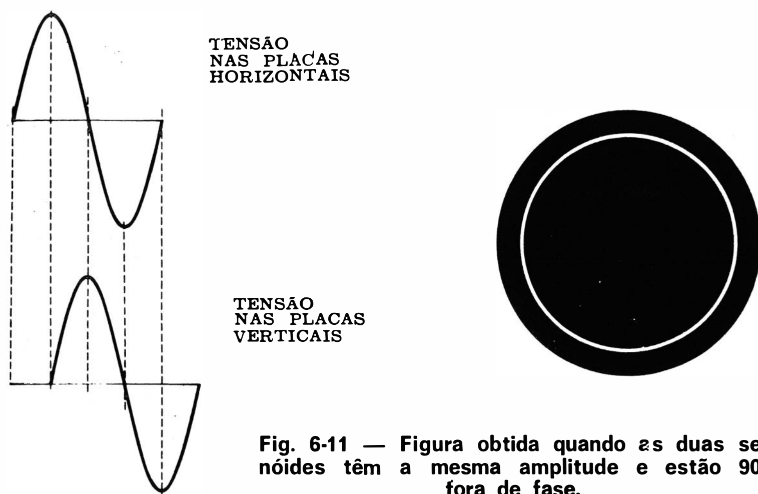


Fig. 6-11 — Figura obtida quando as duas senóides têm a mesma amplitude e estão 90° fora de fase.

placas verticais; isto é devido à posição relativa entre os conjuntos de placas defletoras, estando as de deflexão horizontal um pouco mais próximas da tela do T.R.C. e proporcionando, por isto, um deslocamento um pouco menor na tela do ponto luminoso, para idêntica tensão aplicada. A sensibilidade horizontal do T.R.C. é, portanto, um pouco inferior à sensibilidade vertical.

As Figs. 6-12 e 6-13 ilustram o que ocorre quando a senóide aplicada às placas defletoras verticais tem, respectiva-

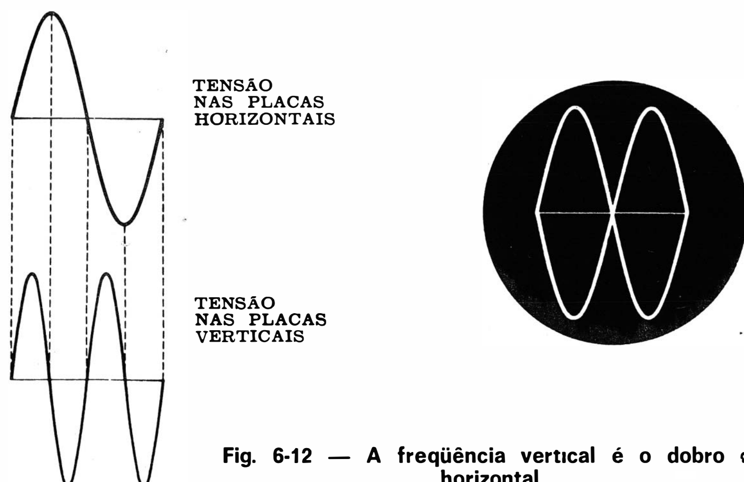


Fig. 6-12 — A freqüência vertical é o dobro da horizontal.

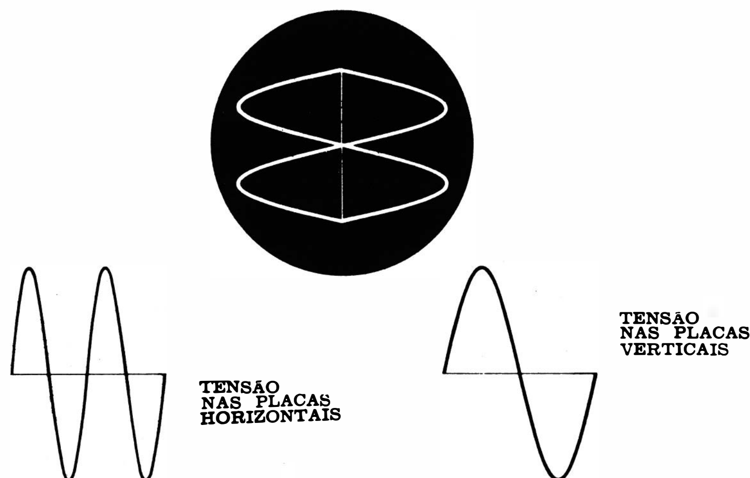


Fig. 6-13 — A freqüência horizontal é o dobro da vertical.

mente, o dobro ou metade da freqüência da que é aplicada às placas horizontais. O leitor já deverá ter notado que, sob certas condições o osciloscópio pode ser usado para comparar as freqüências de dois sinais harmônicos (isto é, se uma delas for múltipla da outra).

Normalmente, a deflexão horizontal empregada é uma tensão dente-de-serra, que proporciona um deslocamento linear com o tempo no sentido horizontal; às placas defletoras verticais é, então, aplicado o sinal cuja amplitude ou forma de onda se deseja observar.

O OSCILOSCÓPIO BÁSICO

A Fig. 6-14 apresenta todos os circuitos básicos de um osciloscópio, podendo-se ver o T.R.C. na parte superior do diagrama de blocos. Uma das placas defletoras de cada conjunto, horizontal e vertical, foi ligada à massa, como é usual em muitos osciloscópios.

Ligado à outra placa defletora vertical está o *amplificador vertical,* e à horizontal o amplificador de mesmo nome. Sem estes amplificadores, o osciloscópio perderia a maior parte de sua utilidade, porque a tensão necessária para deslocar o feixe de apenas alguns centímetros é muito alta. Os circuitos empregados nestes amplificadores são *lineares*, o que

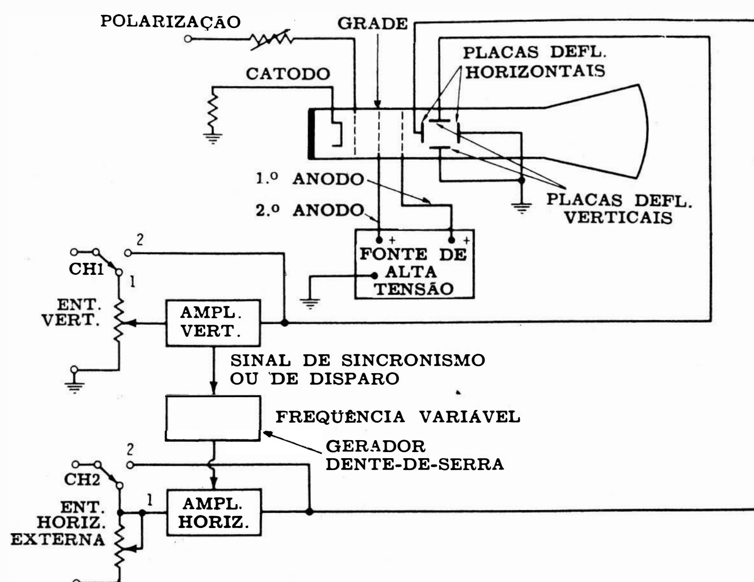


Fig. 6-14 — Diagrama de blocos de um osciloscópio típico.

significa que podem reproduzir, com amplitude suficiente para acionar as placas defletoras e fidelidade total, uma tensão tão pequena que, de outra forma, não poderia ser observada. As chaves CH1 e CH2, contudo, permitem que o sinal externo, quando tiver amplitude suficiente, seja aplicado diretamente às placas defletoras verticais ou horizontais.

Para quase todas as aplicações do osciloscópio, a tensão aplicada às placas defletoras horizontais é obtida do *gerador de varredura,* ou gerador dente-de-serra, interno do aparelho. Êste gerador utiliza uma parte do próprio sinal aplicado ao amplificador vertical para *sincronizar* a freqüência gerada com a do próprio sinal, e alguns osciloscópios dispõem ainda de recursos para sincronizar o gerador de varredura com um sinal externo, aplicado aos terminais correspondentes.

Em muitos instrumentos, o controle que faz variar a parcela do sinal de entrada que será amplificada pelo amplificador vertical é chamado de GANHO VERTICAL, AMPLIFICADOR VERTICAL ou SENSIBILIDADE VERTICAL. O controle de ganho do amplificador horizontal pode ter denominação análoga ou ainda MICROSSEGUNDOS POR CENTÍMETRO. O controle que ajusta a polarização da grade de

controle do T.R.C. pode ser designado por BRILHO ou INTENSIDADE.

Normalmente, existem dois controles para variar a freqüência do gerador de varredura. Um deles é uma chave rotativa com várias posições, que modifica a freqüência horizontal em saltos relativamente grandes. O outro é um potenciômetro, o AJUSTE FINO DE FREQÜÊNCIA, que permite um ajuste mais preciso desta última. Os geradores de varredura geralmente podem fornecer sinais de 20 Hz a 100 kHz ou mais. A chave CH1, na Fig. 6-14, tem duas posições: AMPLIFICADOR VERTICAL para a posição (1), e DIRETO para a posição (2).

Vantagens do osciloscópio

O osciloscópio, quando comparado com os multimetros e voltímetros a válvula, apresenta algumas desvantagens, entre as quais se contam peso e tamanho maiores, além da maior complexidade de operação e interpretação de resultados. As vantagens, entretanto, superam de longe estas deficiências: na observação de formas de onda complexas, o osciloscópio é insubstituível.

A maioria dos instrumentos deste tipo, por exemplo, apresenta elevada impedância de entrada, podendo não só medir a amplitude do sinal, como ainda registrar a forma de onda, a freqüência e a fase. É possivel, em alguns osciloscópios de laboratório, observar separadamente uma pequena parte do sinal entre dois niveis de tensão ou entre dois instantes de tempo, ampliando esta parte até o tamanho desejado.

Como foi dito em capitulo anterior, os voltímetros eletrônicos e multímetros comuns medem tensões alternadas em termos de valores eficazes. Se a forma de onda estiver distorcida, ou se for diferente da senóide, nenhum daqueles dois instrumentos poderá dar uma indicação precisa, ao passo que o osciloscópio, depois de calibrado pela comparação com uma tensão conhecida, indicará num relance os valores de crista e crista-a-crista. É fácil, também, medir a amplitude de uma parte de um sinal composto, como, por exemplo, os pulsos de sincronismo superpostos ao sinal composto de video das emissoras de televisão.

Osciloscópios de faixa larga

A resposta de freqüência dos amplificadores verticais, nos osciloscópios projetados até 1940, não ia além de 250 kHz, fi-

cando freqüentemente limitada a 100 kHz: mesmo nos dias atuais, raramente se torna necessária uma resposta de freqüência melhor do que esta, existindo ainda hoje instrumentos de excelente qualidade projetados para responder entre zero e 100 kHz. Estes instrumentos são de faixa estreita, e podem ser usados para os serviços de reparação e ajuste dos receptores de televisão, embora seja necessária uma resposta algo melhor — até 1,5 MHz ou mais — quando se desejar observar o sinal de vídeo composto. Em televisão a cores, é às vezes necessário dispor de instrumentos com ampla resposta de altas freqüências — até 10 MHz por exemplo. A manutenção de computadores digitais exige também instrumentos desta qualidade. A fronteira entre as classificações de faixa estreita e faixa larga não é muito bem definida, havendo quem a situe em torno de 1 MHz.

Uma boa resposta de freqüência não é a única exigência feita a um osciloscópio, para que este possa ser útil na análise de pulsos: é também necessário que o *tempo de subida* seja o menor possível. Se a resposta do amplificador vertical não cair muito abruptamente depois do limite da faixa (geralmente tomado como a freqüência em que a resposta cai de 3 dB em relação à resposta plana), existe uma relação aproximada entre a largura da faixa de passagem e o tempo de subida:

$$B = K/T_r$$

onde B é a freqüência em que a resposta cai 3 dB, K é uma constante e T_r é o tempo de subida em microssegundos.

A definição mais comum do tempo de subida, como se vê na Fig. 6-15, o dá como o tempo que o sinal leva para subir de 10% a 90% de seu valor de crista.

O valor de K é tomado como 0,35, sempre que a ultrapassagem ("overshoot") não for maior do que 3% da ampli-

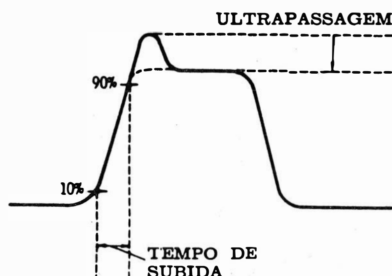


Fig. 6-15 — Especificação usual do tempo de subida e ultrapassagem.

tude da crista do pulso. Para que a relação apresentada acima tenha validade, é preciso também que a resposta do amplificador vertical do instrumento tenha uma curva *gaussiana*, o que significa que as freqüências em que a resposta cai de 3 dB devem ser aproximadamente metade daquelas em que a resposta cai de 12 dB, como mostrado na Fig. 6-16. Se a maior freqüência amplificada pelo instrumento for de 10 MHz, a resposta a 20 MHz deve cair de 12 dB. A maioria dos instrumentos de laboratório atende a estas especificações.

Se um osciloscópio tem uma curva de resposta de freqüência gaussiana, e sua freqüência de corte superior é de 8 MHz (freqüência em que o ganho cai de 3 dB), o tempo de subida é aproximadamente igual a 44 ns (nanossegundos).

Para que um osciloscópio possa medir o tempo de subida de um pulso, é indispensável que o tempo de subida do amplificador vertical do instrumento seja muitas vezes menor

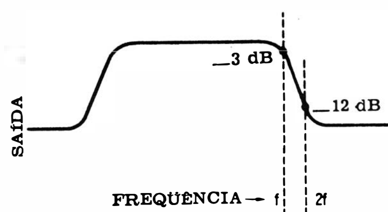


Fig. 6-16 — Curva de resposta de freqüência exigida para que a expressão $B = 0,35/T_r$ possa ser aplicada.

do que o do pulso que está sendo medido. Se o T_r do osciloscópio for um terço do T_r do pulso, o erro não excederá de 5%. O eixo horizontal do osciloscópio, para que seja medido o T_r de um pulso, deve ser calibrado em *tempo* e não em freqüência.

Impedância de entrada e sensibilidade

A impedância de entrada da maioria dos osciloscópios tem 1 ou 1,5 MΩ, em paralelo com 30 ou 50 pF, que correspondem às capacitâncias distribuídas. Quando se exige, para algumas medições, impedância de entrada mais alta ou capacitância de entrada menor, torna-se necessário utilizar pontas de prova especiais, que serão descritas a seguir.

A sensibilidade de um osciloscópio é uma indicação dos limites máximo e mínimo de tensão que o instrumento pode medir. Ela é, habitualmente, especificada em *volts por centímetro*. A sensibilidade vertical de osciloscópios típicos ge-

ralmente fica entre 2 mV/cm e 100 mV/cm, embora as unidades de alta sensibilidade possam apresentar um valor tão elevado quanto 200 µV/cm.

Para interpretar esta especificação, suponhamos que um osciloscópio tem sensibilidade vertical de 500 mV/cm. Para produzir na tela uma figura de 2 cm de altura, será portanto necessária uma tensão de 4 volts crista-a-crista; se a forma de onda for senoidal, a tensão eficaz correspondente será de 1,414 volts.

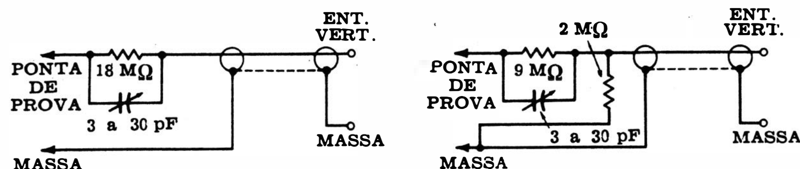
Muito embora em alguns osciloscópios a sensibilidade horizontal seja igual à vertical, na maioria dos casos ela é consideravelmente menor.

Pontas de prova especiais

As pontas de prova de alta impedância, que apresentam ao mesmo tempo capacitância reduzida, são utilizadas quando se deseja impedir que a entrada do osciloscópio carregue o circuito em prova. Estas pontas de prova introduzem uma atenuação do sinal, usualmente de dez para um, sendo esta também a relação de aumento da impedância (ou seja, o osciloscópio agora aparece como se tivesse impedância de entrada dez vezes maior) e redução da capacitância de entrada. A Fig. 6-17 ilustra as duas montagens mais freqüentemente utilizadas, sendo a da Fig. 6-17B preferida quando a componente contínua do sinal a medir é elevada.

Os dois tipos de pontas de prova "10 para 1" apresentados exigem compensação da capacitância parasita, depois de montados: para isto, aplica-se uma onda quadrada de 20 a 60 Hz e posiciona-se o capacitor ajustável para a melhor resposta; depois o ajuste é repetido na freqüência de 15 kHz a 20 kHz.

Os valores indicados na Fig. 6-17 são adequados para um osciloscópio com impedância de entrada de 2 MΩ. Se esta fôr



A) Somente para C.A. *B) Para C.A. e C.C.*

Fig. 6-17 — Pontas de prova de baixa capacitância.

diferente, o valor dos resistores deve ser correspondentemente alterado: o resistor da Fig. 6-17A, por exemplo, deveria ter apenas 9 MΩ se a impedância de entrada do osciloscópio fosse de 1 MΩ.

Em alguns casos é necessário medir tensões em circuitos onde existem elevadas componentes alternadas; nestes casos, para proteger o atenuador da entrada do instrumento, é aconselhável utilizar uma ponta de prova que atenue o sinal na relação "100 para 1", como a mostrada na Fig. 6-18. Esta ponta de prova contém um divisor de tensão capacitivo, do qual fazem parte a capacitância interna da 1X2A e o capacitor de 150 pF. A válvula, portanto, não funciona como um diodo, não recebendo seu filamento alimentação alguma. Esta ponta de prova não exige compensação de freqüência, como as anteriores, uma vez que a componente resistiva da impedância de entrada pode ser desprezada em presença das capacitâncias existentes.

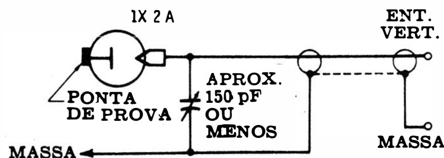
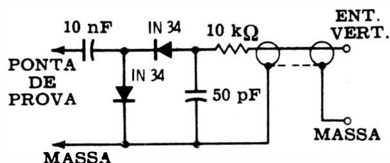
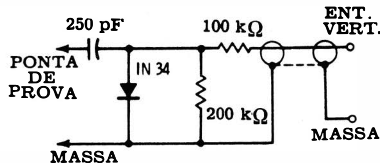


Fig. 6-18 — Ponta de prova com divisor capacitivo.

Com o auxílio de uma ponta de prova *demoduladora*, ou *detectora*, o osciloscópio pode ser usado para observar ou medir sinais nos estágios de F.I. e R.F. dos receptores de rádio e televisão. A Fig. 6-19A ilustra uma destas pontas de prova, que utiliza um dobrador de tensão. Já a unidade representada na Fig. 6-19B emprega um retificador de meia onda, sendo a sua tensão de saída apenas metade da proporcionada pela ponta de prova anterior. Sua resposta de freqüência, entretanto, é melhor do que a daquela. Os fabricantes dos osciloscópios normalmente fornecem, a pedido, estas pontas de prova especiais já montadas ou sob forma de "kit".



A) Com dobrador de tensão.



B) Com retificador de meia onda.

Fig. 6-19 — Pontas de prova detectoras.

Recursos de um osciloscópio típico

O instrumento da Fig. 6-20 pode ser considerado como protótipo dos osciloscópios modernos de faixa larga. Este modelo é fornecido pelo fabricante com uma ponta de prova de baixa capacitância, e encontra largo emprego em oficinas de rádio e televisão.

De acordo com a posição de uma chave no painel, a resposta do amplificador vertical pode ser:

a) plana dentro de ± 1 dB de 3 Hz a 500 kHz, com sensibilidade de 10 milivolts por centímetro, ou

b) plana dentro de ± 1 dB entre 3 Hz e 4,5 MHz, com sensibilidade de 30 milivolts por centímetro.

A primeira destas condições é designada como posição de *alta sensibilidade,* ao passo que a outra é conhecida como posição de *faixa larga.* A resposta de freqüência do instrumento, na realidade, é um pouco maior do que a indicada; na posição (a), por exemplo, ela só cai de 6 dB em 1,5 MHz. A resposta do amplificador horizontal é plana dentro de 6 dB de 3 Hz a 500 kHz, com sensibilidade de 100 milivolts por centímetro. O tempo de subida do amplificador vertical é de 100 ns para a posição (b), e de 500 nanossegundos para a posição (a). A impedância de entrada do instrumento propriamente dito é de 1 MΩ, com 40 pF em paralelo; com a ponta de prova, e a chave desta na posição DIRETO, a impedância de entrada continua sendo de 1 MΩ, mas agora com 75 pF em paralelo. Na posição de baixa capacitância, a impedância sobe para 10 MΩ em paralelo com 12,5 pF.

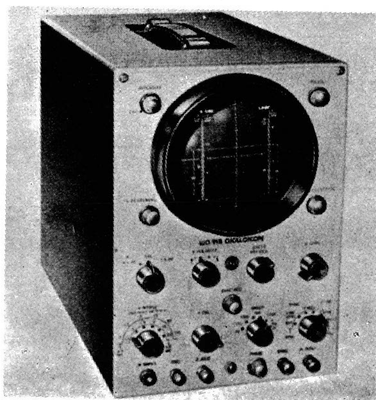


Fig. 6-20 — Osciloscópio da RCA, modelo WO-91B.

O gerador de varredura horizontal fornece dentes-de-serra entre 10 Hz e 100 kHz, possuindo a chave seletora de freqüências duas posições específicas, assinaladas com "30 Hz" e "7.875 Hz", para observação de sinais de televisão, nas freqüências de varredura vertical e horizontal destes receptores. A entrada do instrumento permite que lhe sejam aplicadas tensões de até 600 volts crista-a-crista, com uma componente contínua superposta de 400 volts.

Na Fig. 6-21 esta o diagrama de blocos deste instrumento, sendo o diagrama esquemático apresentado na Fig. 6-22. O leitor poderá acompanhar nestas figuras a descrição que se segue da operação dos diversos controles, servindo os números que os antecedem entre parênteses para localizá-los no painel frontal da Fig. 6-20.

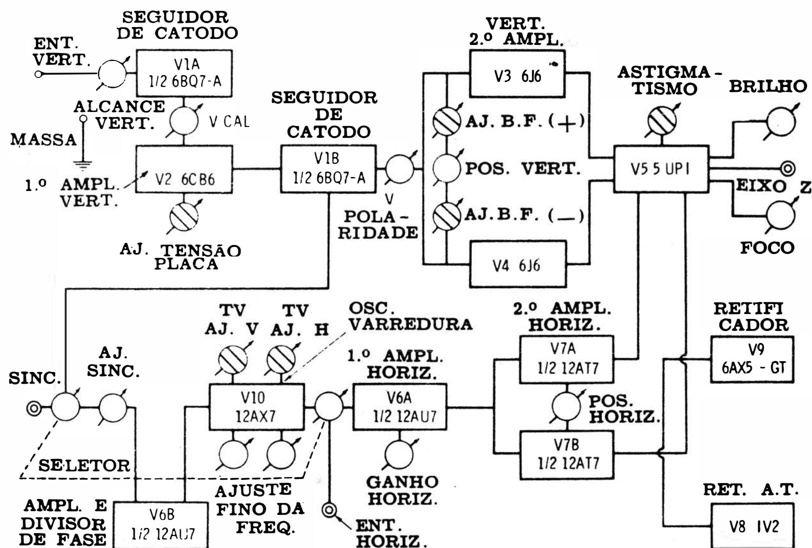


Fig. 6-21 — Diagrama de blocos do osciloscópio RCA WO-91A.

Operação dos controles

(1) CH6 e R45 são conjugados em um mesmo eixo; a primeira é a chave liga-desliga do instrumento, ao passo que o potenciômetro controla a intensidade do ponto luminoso na tela.

(2) R47 é o controle de foco, devendo ser reajustado sempre que R45 o for.

(3) R32, alterando a tensão contínua aplicada às placas defletoras verticais, fixa a posição do ponto nesta direção.

(4) R64 tem função idêntica, ajustando a posição horizontal da figura.

(5) CH2 permite obter as duas sensibilidades diferentes do amplificador vertical, já mencionadas, tendo ainda uma terceira posição que desliga todo e qualquer sinal externo da entrada do aparelho, aplicando a esta um sinal de calibração cuja tensão é conhecida.

(6) CH1 é a chave que seleciona a sensibilidade vertical necessária. Quando o osciloscópio está calibrado, o número indicado por esta chave é a tensão crista-a-crista necessária para encher a tela, entre os dois limites da escala que se vê na Fig. 6-23.

(7) CH3 serve para inverter a polaridade da tensão aplicada às placas defletoras verticais, invertendo a posição da imagem na tela.

(8) O jaque J1 serve para ligar o sinal externo à entrada vertical do instrumento.

(9) R25 permite ajustar o ganho do amplificador vertical, durante a calibração: sua posição correta é aquela em que o sinal do calibrador ocupa o espaço entre as duas retículas de referência da escala.

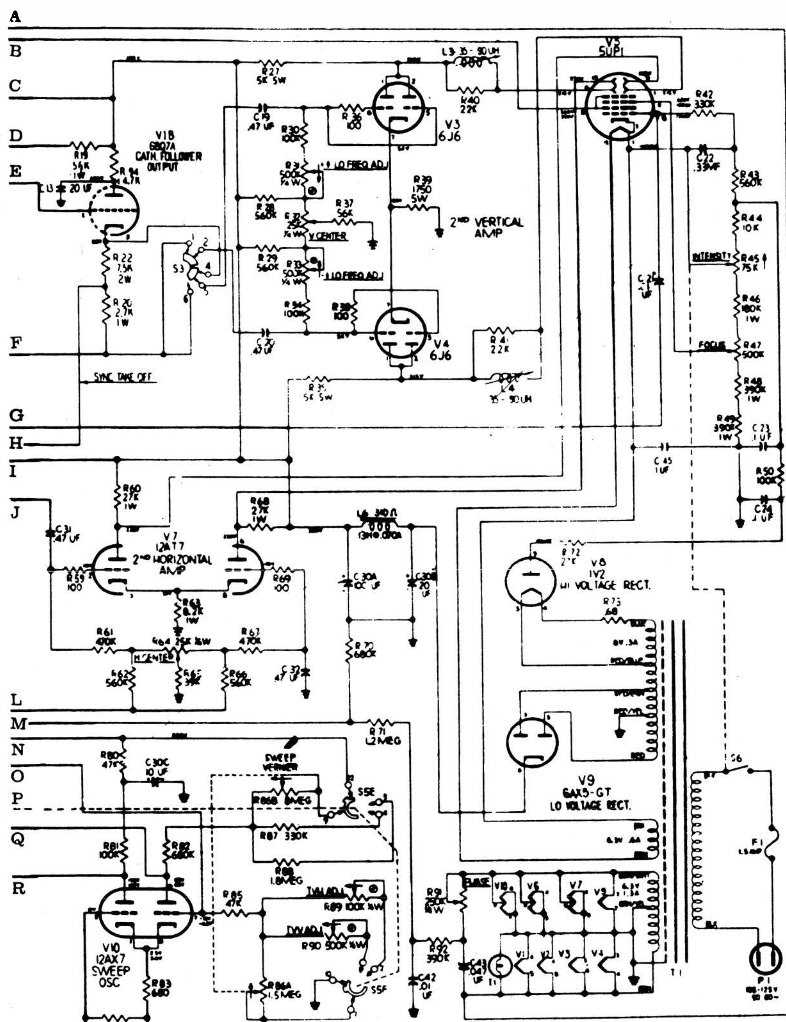
(10) O terminal E1 está ligado diretamente ao chassi e à caixa do instrumento, servindo de ligação externa de massa.

(11) A chave CH4 tem várias funções. Em quatro de suas posições, seleciona o sinal de sincronismo aplicado ao gerador de varredura: na posição EXTERNO, o sincronismo deve ser aplicado externamente aos terminais adequados do painel; na posição REDE, o gerador de varredura é sincronizado com a rede de alimentação; nas posições INTERNO + e INTERNO —, o gerador é sincronizado com a parte positiva ou negativa, respectivamente, do sinal presente no amplificador vertical.

As outras duas posições desta chave servem para desligar o gerador de varredura interno, ligando a entrada do amplificador horizontal à rede de alimentação ou a terminais de entrada no painel do aparelho.

(12) CH5 seleciona a faixa de freqüências do gerador de varredura, tendo duas posições para freqüências de 30 Hz e 7.875 Hz, usadas na observação de sinais em televisores.

Fig. 6-22 — Diagrama esquemático completo do osciloscópio RCA WO-91A.


A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
L
M
N
O
P
Q
R
S
V5 5UP1
V3 6J6
V4 6J6
V1B 6SN7A CATH. FOLLOWER OUTPUT
2ND VERTICAL AMP
V7 12AT7 2ND HORIZONTAL AMP
V8 1V2 HI VOLTAGE RECT.
V9 6AX5-GT LO VOLTAGE RECT.
V10 12AX7 SWEEP OSC
SYNC TAKE OFF
LO FREQ ADJ
V CENTER
H CENTER
INTENSITY
FOCUS
SWEEP VERNIER
NOTES:
1. ALL CAPACITORS IN UUF UNLESS NOTED.
2. ALL RESISTORS ½ WATT UNLESS NOTED.
3. ALL SWITCHES SHOWN IN MAX. CCW POSITION.
4. ALL LOW VOLTAGES MEASURED TO GND WITH A VOLTOHMYST & NO SIGNAL INPUT. VOLTAGES SHOULD HOLD WITHIN ±20% WITH 117 V AC SUPPLY. ALL HIGH NEGATIVE VOLTAGE MEASUREMENTS MADE WITH HIGH VOLTAGE PROBE.

(13) R86A e R86B, dois potenciômetros conjugados, permitem o ajuste fino da freqüência de varredura horizontal, dentro da faixa selecionada por CH5.

(14) O terminal E4 serve para receber o sinal externo de sincronismo.

(15) R74 ajusta a amplitude do sinal de sincronismo aplicado ao gerador dente-de-serra; esta amplitude deve ser a mínima necessária para assegurar o sincronismo.

(16) O terminal E3, de entrada horizontal, recebe os sinais destinados ao amplificador horizontal, quando for necessário.

(17) R57, controle de ganho do amplificador horizontal, ajusta a largura da imagem na tela.

(18) R91 controla a fase do sinal de sincronismo, quando este é obtido da rede de alimentação.

(19) O terminal E2 está ligado, através de um capacitor, à grade de controle do T.R.C. Sua função será explicada mais tarde: ele permite modular o "eixo Z" do osciloscópio, ou seja, a intensidade do traço.

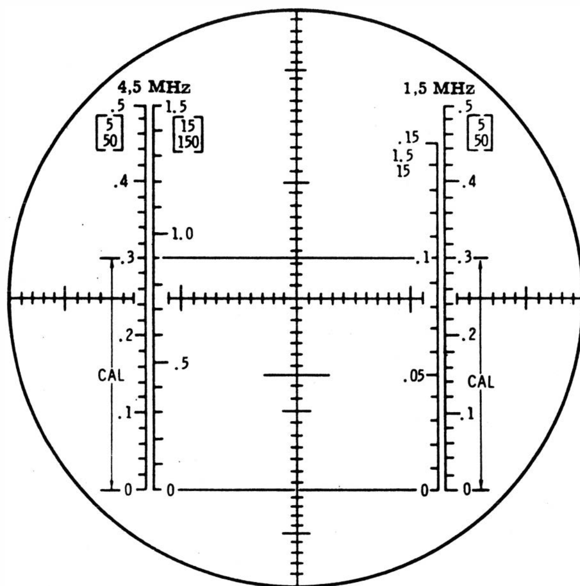


Fig. 6-23 — Escala transparente para ser colocada em frente à tela do osciloscópio.

Calibração do amplificador vertical

O circuito interno de calibração do amplificador vertical, ou "eixo Y", como também é chamado, utiliza a tensão de filamento do aparelho, através de um divisor constituído por R13 e R14, como padrão de comparação. O procedimento a adotar é o seguinte:

Com o controle (5) na posição CALIBRAÇAO, ajusta-se a posição dos controles de posição vertical, (3), e ganho vertical, (9), para que a senóide tenha exatamente a amplitude indicada pelas setas "CAL", na escala transparente da Fig. 6-23. O instrumento estará então calibrado.

O mostrador transparente tem dois conjuntos de escalas, sendo o da direita usado quando a chave (5) está na posição de alta sensibilidade e o da esquerda quando aquele controle está na posição de faixa larga. Vejamos, por exemplo, como seria feita a medida da tensão de uma onda quadrada:

Depois de calibrado o instrumento, a onda quadrada é aplicada à entrada vertical do instrumento, sendo o controle (6) posicionado para que a imagem na tela fique inteiramente contida nos limites da escala. Os controles (12) e (13) devem ser ajustados para que a imagem fique parada, sendo então lido o valor crista-a-crista na escala correspondente à posição da chave (5).

Entrada do eixo Z

O capacitor C21 acopla diretamente a entrada do eixo Z à grade de controle do T.R.C. Com um sinal na entrada de 12 volts eficazes, o traço na tela será modulado por ele. A Fig. 6-24 mostra dois exemplos desta situação, nos quais a freqüência do sinal aplicado ao eixo Z é muito maior do que a do gerador de varredura. O sinal do eixo Z pode ser obtido de um gerador de áudio ou de um gerador de ondas quadradas.

A técnica de modulação da intensidade do feixe pode ser usada para avaliar aproximadamente a freqüência do sinal observado: o número de interrupções, por ciclo, do traço na tela expressa a relação entre a freqüência do sinal no eixo Z e a do sinal no amplificador vertical. No lado esquerdo da Fig. 6-24, por exemplo, esta relação é de aproximadamente 22 para 1; se a freqüência do sinal no eixo Z for de 1 kHz, o sinal observado terá aproximadamente 45,5 Hz.

Este processo serve também para medir o tempo de subida e a largura de um pulso. Se, por exemplo, a parte ante-

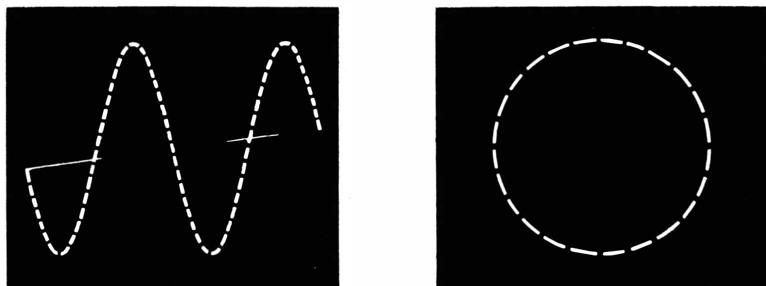


Fig. 6-24 — Modulação do eixo Z.

rior de um pulso for interrompida em seis segmentos por um sinal de 1 MHz no eixo Z, o tempo de subida do pulso será aproximadamente 6 microssegundos.

Alguns osciloscópios já trazem geradores de marcas internos, que modulam positivamente o eixo Z, proporcionando pontos mais brilhantes na tela em lugar dos segmentos interrompidos.

Sincronismo e varredura externos

Em alguns casos se torna necessário sincronizar o gerador de varredura horizontal do osciloscópio com um sinal externo. Isto acontece, por exemplo, quando se deseja medir o tempo de retardo introduzido por um equipamento qualquer em um trem de pulsos. Se o osciloscópio for sincronizado com o gerador de pulsos, de tal maneira que a varredura se inicie na parte esquerda da tela quando começar um pulso, a posição em que este último aparece, depois de ter atravessado o equipamento, indicará o tempo decorrido. Para isto, é indispensável calibrar antes o eixo horizontal em termos de tempo: se, por exemplo, a velocidade de deslocamento horizontal do ponto for de 1 cm por microssegundo, e o pulso aparecer na tela a 25 mm de distância do ponto onde se inicia a varredura, o retardo será de 2,5 microssegundos. É claro que se o gerador de varredura fosse sincronizado com o sinal presente no amplificador vertical não seria possível efetuar esta medida, porque o pulso apareceria sempre na mesma posição, qualquer que fosse o retardo introduzido.

Em outras ocasiões, o próprio gerador de varredura interno é substituído por um gerador externo. Um exemplo consiste na observação de uma pequena parte da figura, por

meio de um dente-de-serra de curta duração, mas com a mesma amplitude e freqüência de recorrência do que é fornecido pelo gerador interno do osciloscópio.

Também quando o osciloscópio é utilizado para observar a saida de um amplificador excitado por um gerador de varredura, a deflexão horizontal é normalmente feita a partir do mesmo sinal de freqüência variável do gerador; só assim é assegurado sincronismo perfeito entre as varreduras do gerador e do osciloscópio.

A chave eletrônica

Este dispositivo é dos mais úteis que podem ser acrescentados a um osciloscópio: permite a observação simultânea de dois sinais, que podem ser colhidos, por exemplo, na entrada e na saida de um estágio amplificador.

A Fig. 6-25 mostra como se utiliza a chave eletrônica: os terminais de entrada "A" recebem o sinal antes de um circuito limitador, e a entrada "B" recebe o sinal depois de ter

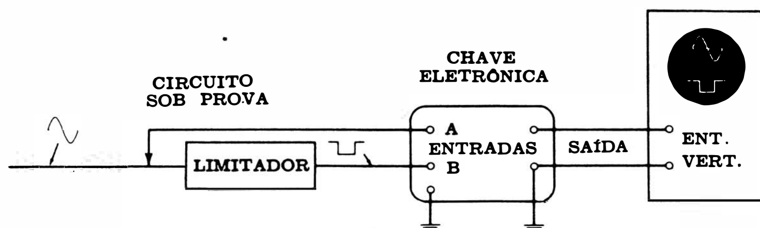


Fig. 6-25 — Utilização de uma chave eletrônica para a observação simultânea de dois sinais.

atravessado o dito circuito. A saída da chave eletrônica é ligada à entrada vertical do osciloscópio, entregando a esta, alternadamente, uma ou outra das entradas, a uma freqüência suficientemente alta para que a persistência da imagem na tela e da visão humana dêem a impressão de que os dois sinais estão continuamente presentes. Se for superposta uma tensão contínua a um dos sinais, como se vê na Fig. 6-25, uma das figuras aparecerá acima da outra, ao passo que, sem esta tensão contínua, as duas figuras apareceriam superpostas na tela. Os amplificadores do osciloscópio e da chave eletrônica, portanto, devem permitir a passagem de corrente continua, para não alterar a posição relativa dos sinais observados.

QUESTIONÁRIO

6- 1 — Enumere as partes que compõem um canhão eletrônico.

6- 2 — Que significa a abreviatura T.R.C.?

6- 3 — Em que direção é deslocado o feixe eletrônico pelas placas de deflexão horizontal? E pelas de deflexão vertical?

6- 4 — Qual é a posição relativa e a finalidade dos dois anodos encontrados nos T.R.C. modernos?

6- 5 — O que é e para que serve o aquadag?

6- 6 — Que polaridade deve ter a tensão em uma placa defletora para atrair o feixe eletrônico?

6- 7 — Que figura aparecerá na tela de um T.R.C., se for aplicada uma tensão senoidal às placas de deflexão vertical, sem sinal nas defletoras horizontais?

6- 8 — E, na mesma situação anterior, se aplicarmos uma tensão dente-de-serra de mesma freqüência que a senoidal às placas defletoras horizontais, qual será a figura na tela?

6- 9 — Que significa "retraço"?

6-10 — Se a senóide aplicada à entrada vertical de um osciloscópio tiver o dobro da freqüência do dente-de-serra da varredura horizontal, o que aparecerá na tela?

6-11 — Que forma de onda deve ser aplicada às placas defletoras horizontais, quando se deseja, na tela, um deslocamento horizontal linear com o tempo?

6-12 — Qual é a freqüência do sinal na entrada vertical de um osciloscópio, se o dente-de-serra tem 500 Hz e aparecem na tela dez ciclos completos de senóide?

6-13 — Para que a deflexão na tela tenha a mesma amplitude nas duas direções, a tensão aplicada às placas defletoras horizontais deve ser maior ou menor do que a das verticais? Sabe-se que estas ficam mais afastadas da tela do que aquelas.

6-14 — Descreva os sinais que devem ser aplicados às entradas horizontal e vertical de um osciloscópio, para que se obtenha uma figura circular na tela.

6-15 — Para que serve o gerador de varredura horizontal do osciloscópio?

6-16 — Para que serve o SINCRONISMO INTERNO? E o EXTERNO?

6-17 — É possível controlar a amplitude da figura na tela, quando o sinal é aplicado diretamente às placas defletoras?

6-18 — Que nome tem o controle que permite variar a altura da imagem?

6-19 — Qual é o efeito do controle de BRILHO ou INTENSIDADE?

6-20 — Se uma tensão de 2 volts aparece como uma figura de 1 cm de altura, qual é a dimensão vertical de uma tensão de 3 volts?

6-21 — Admita que uma tensão contínua de 50 volts é aplicada às placas defletoras verticais de um osciloscópio, defletindo o feixe 1 cm para cima. Se esta tensão for substituída por uma senóide de 50 volts eficazes, qual será a altura do traço na tela?

6-22 — Qual é a freqüência de corte superior de um osciloscópio que deve ser usado para medir o tempo de subida de pulsos com 500 nanossegundos, com erro desprezível?

6-23 — Qual o acessório adequado para a observação de sinais de alta freqüência, em circuitos de alta impedância?

6-24 — Um osciloscópio foi calibrado para que, com 1 volt eficaz na entrada, a figura na tela apresente 1 cm de altura. Se for usada agora uma ponta de prova de baixa capacitância, com relação "10 para 1", qual será a tensão eficaz do sinal que provoca uma deflexão de 2 cm na tela?

6-25 — A sensibilidade de um osciloscópio é de 150 milivolts por centímetro (tensão eficaz). Este instrumento pode ser utilizado para medir uma tensão de 200 milivolts crista-a-crista?

6-26 — Qual é a finalidade do "eixo Z" de um osciloscópio?

6-27 — Qual o dispositivo que permite a observação simultânea de dois sinais em um osciloscópio?

índice alfabético

P

Q

R

S

T

V

distribuições exclusivas das Lojas do Livro Eletrônico



Ref. 1110 — **Elementos de Teoria para Eletro-Eletrônica** — Abramczuk e Chautard — Fundamentos de eletricidade básica, seus parâmetros e circuitos, para uso dos estudantes de Eletro-Eletrônica em níveis médio e superior.

Ref. 372 — **Curso Simplificado para Mecânicos de Refrigeração Doméstica** — Tullio & Tullio — Princípios de funcionamento, compressores, motores, refrigerantes, instalação, manutenção, diagnósticos e reparação de defeitos em refrigeradores domésticos.





Ref. 805 — **Bobinadora de Passo Automático para Transformadores** — Tecídio Jr. — Plantas em tamanho natural e dados para construção de máquina de enrolar; instruções práticas, fórmulas e tabelas para confecção de transformadores de alimentação.

Ref. 780 — **Componentes Eletrônicos: É Fácil Compreendê-los** — Waters — Monografia sobre as principais peças eletrônicas, princípios, funções e utilização.





Ref. 172 — **Curso Prático de Televisão** — G.E. — Princípios fundamentais da televisão e análise funcional dos circuitos dos televisores.

MODERNAS TÉCNICAS DE TELEVISÃO

Uma coleção indispensável aos Mestres, Alunos e Profissionais de TV que desejam manter-se rigorosamente em dia com a Videotécnica. Especialmente escrita pelo abalizado professor brasileiro Eng. Alcyone Fernandes de Almeida Jr.

Ref. 675



— Modernos sintonizadores de TV, componentes, características e pesquisa de defeitos. Seletores transistorizados. Esquemas de seletores comerciais mais difundidos no Brasil

Ref. 630



— Amplificadores de F.I. de imagem, suas características e configurações a válvula e a transistor. Detectores de vídeo. Calibração e reparação.

Ref. 615



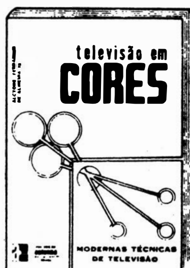
— Detalhes de funcionamento dos circuitos usados nos modernos televisores a válvula e a transistor.

Ref. 640



Análise dos circuitos utilizados nestas duas funções nos televisores a válvula e a semicondutores.

Ref. 745



— Descrição dos circuitos adicionais (Sistema PAL-M) e seu funcionamento. Ajustes do cinescópio policromático.

Ref. 660



— Análise detalhada do funcionamento dos circuitos de varredura e configurações a válvula e a transistor. Circuitos de fontes de alimentação mais utilizados em TV. Polarização de cinescópios.

como comprar livros de eletrônica

Sempre que Você precisar de qualquer livro nacional ou estrangeiro de rádio, TV, áudio ou assuntos correlatos, peça-o à organização dirigida por técnicos de Eletrônica e com meio século de tradição em edições e vendas de livros e revistas especializadas. As *Lojas do Livro Eletrônico* mantêm livrarias no Rio de Janeiro e em São Paulo e remetem livros pelo correio para qualquer cidade brasileira ou do exterior.

INSTRUÇÕES

- **Escreva com a máxima clareza seu nome e seu endereço completos.**
- **Mencione o Autor, o título e (se souber) o número de referência de cada livro.**
- **As encomendas podem ser atendidas pelo reembolso, com despesas a cargo do comprador.**
- **Os pedidos pelo reembolso para localidades distantes ou com serviços postais deficientes serão remetidos por via aérea com porte a cobrar do destinatário.**
- **As Lojas do Livro Eletrônico são distribuidoras exclusivas das edições de "Antenna", "Seleções Eletrônicas" e de outras destacadas editoras técnicas nacionais e estrangeiras, efetuando fornecimentos a livrarias e revendedores do Brasil e do exterior.**

LOJAS DO LIVRO ELETRÔNICO

RIO DE JANEIRO — Av. Mal. Floriano, 148 | SÃO PAULO — Rua Vitória, 379/383

Reembôlso: Caixa Postal 1131 — 20000 — Rio de Janeiro - RJ

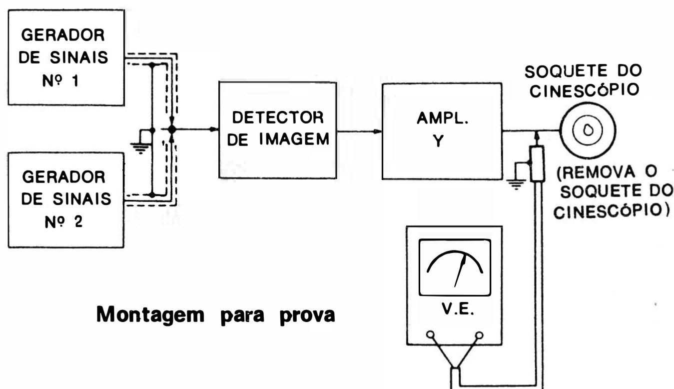
Como Verificar a Resposta de Freqüência do Amplificador Y

Equipamento: Gerador de sinais auxiliar, V.E. e ponta de prova retificadora.

Ligações Necessárias: Aplique as saídas dos geradores de sinais, em paralelo, na entrada do detector de imagem. Remova o soquete do cinescópio. Ligue a ponta de prova retificadora entre a saída do amplificador Y e a massa do chassi. Aplique a saída da ponta de prova ao V.E.

Procedimento: Sintonize ambos os geradores de sinais para uma freqüência de referência, tal como 40 MHz. Então, sintonize um gerador, a partir da freqüência de referência, ao longo de uma faixa de freqüências de aproximadamente 5 MHz (tal como 40 a 45 MHz), observando o medidor.

Avaliação dos Resultados: O amplificador Y deve ter uma resposta razoavelmente plana até aproximadamente 3 MHz (segundo gerador sintonizado para 43 MHz). Uma queda pronunciada na resposta ocorre em 3,58 MHz (segundo gerador sintonizado para 43,58 MHz) se o rejeitor da subportadora de cor estiver corretamente sintonizado. Alguns receptores têm resposta apreciável além de 3,58 MHz. Outros têm uma resposta desprezível entre 3,58 e 4,5 MHz. As provas de resposta do amplificador Y podem ser feitas mais rapidamente com uma prova de varredura de freqüência.



Montagem para prova

O soquete do cinescópio é removido para que a capacitância de entrada da ponta de prova retificadora substitua a capacitância de entrada do cinescópio. Isto permite uma verificação mais exata da resposta de altas freqüências de vídeo. Em alguns receptores, uma verificação mais apurada é obtida desligando o lide do último transformador de F.I. para o diodo detector de imagem. Isto evita a possibilidade das características do transformador de F.I. virem a falsear a uniformidade do sinal de prova aplicado.

NOTA 48

Evitando Ruído Espúrio e Tensões de Intermodulação nas Provas do Amplificador Y

Quando um sinal de prova é injetado na saída do detector de imagem, há, no cinescópio, duas possíveis fontes de tensões espúrias que podem mascarar a tensão de prova. Tensões de ruído podem ser alimentadas através dos amplificadores de R.F. e de F.I. Para eliminar as tensões de ruído, polarize até o corte o amplificador de F.I. ou remova a última válvula de F.I. Intermodulação dos circuitos de varredura horizontal e vertical podem ser prejudiciais. Para eliminar a intermodulação, remova as válvulas de saída. (Raramente é necessário interromper, também, o funcionamento dos osciladores horizontal e vertical.) Se a tensão de +B cresce demasiadamente quando as válvulas de saída são retiradas, use resistores de potência adequados para drenar a fonte de alimentação de +B. Note, também, que alguns receptores têm pulsos de apagamento aplicados ao amplificador Y, provenientes dos circuitos de varredura — esses pulsos são também eliminados ao se retirarem as válvulas de saída. Se você estiver trabalhando num receptor em cores com filamentos em série, podem ser inseridas válvulas "fictícias" para manter a continuidade dos filamentos.

U86

Como Substituir o Oscilador Inoperante da Subportadora de Cor por um Gerador de Sinais

Equipamento: Nenhum.

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída do gerador de sinais aos terminais do soquete do cristal de 3,575612 MHz no receptor.

Procedimento: Sintonize o gerador exatamente para 3,575612 MHz. Use a máxima saída do gerador.

Avaliação dos Resultados: A saída da maior parte dos geradores é uma pequena fração da saída normal do cristal. En-

tretanto, a prova mostrará se o restante do receptor está em boas condições de funcionamento. A imagem colorida não permanecerá no sincronismo de cores, mas pode ser estabilizada por um cuidadoso ajuste do gerador.

U87

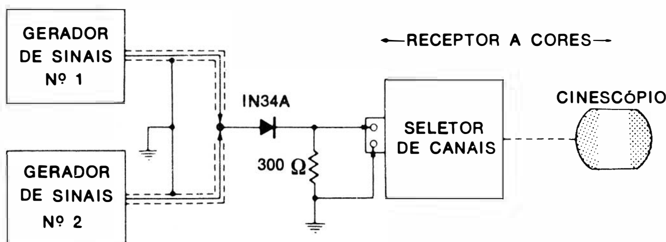
Como Verificar a Estabilidade da Fixação do Sincronismo de Cor

Equipamento: Gerador de sinais auxiliar, diodo de cristal e resistor de 300 ohms.

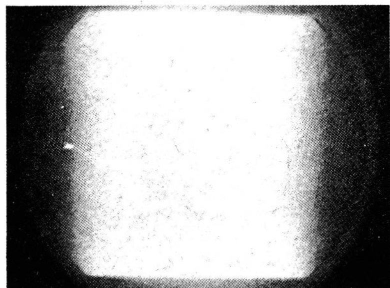
Ligações Necessárias: Ligue o equipamento conforme mostrado na ilustração seguinte.

Procedimento: Sintonize os geradores para obter um único padrão de cores na tela. Em seguida, gire para frente e para trás o controle de sintonia do gerador n.º 2 e observe como o padrão de cores puxa para a esquerda e para a direita, na tela, antes que o sincronismo de cor se perca.

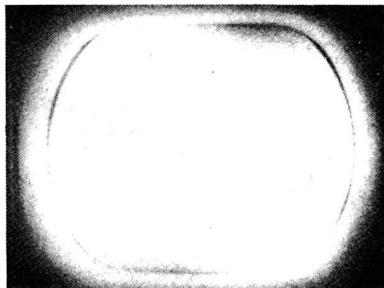
Avaliação dos Resultados: A figura observada deve puxar substancialmente para a esquerda à medida que o gerador é sintonizado para fora da freqüência em uma direção, e depois puxar substancialmente para a direita à medida que o gerador é sintonizado para fora da freqüência na outra direção. Se o padrão de cores perde o sincronismo facilmente em uma direção, o controle de equilíbrio do C.A.F. de cor requer ajuste. Se a figura perde sincronismo rapidamente em ambas as direções, verifique o amplificador de salvas e os circuitos da válvula de reatância.



Montagem para prova



Padrão de cores em sincronismo.



Perda do sincronismo de cor.

U88

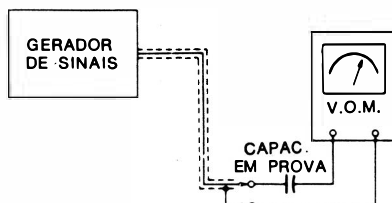
Como Medir o Valor de um Capacitor

Equipamento: V.O.M.

Ligações Necessárias: Ligue o capacitor a ser medido em série com o gerador e o V.O.M., conforme mostrado no diagrama seguinte.

Procedimento: Opere o gerador de sinais na saída de áudio de 400 Hz. Aumente a saída até o máximo. Opere o V.O.M. em sua função de "tensão C.A." numa escala adequada. Observe a leitura do medidor.

Avaliação dos Resultados: A montagem para prova precisa ser calibrada usando capacitores de baixa tolerância como padrões. Prepare um gráfico de tensão versus capacitância, para fácil interpolação de valores intermediários. Compare a leitura do medidor com os dados do gráfico para achar a capacitância do capacitor desconhecido.



Montagem para prova.

Como Medir o Valor de um Pequeno Capacitor

Equipamento: Receptor de rádio, resistor de terminação de 75 ohms, capacitor de 100 pF, V.E. e fonte de polarização.

Ligações Necessárias: Ligue o capacitor de 100 pF entre os terminais de entrada de antena do receptor. Ligue o cabo de saída terminado do gerador a esses mesmos pontos. Ligue a fonte de polarização à linha de C.A.G. no receptor. Na prova final, ligue o pequeno capacitor desconhecido em série com o lide "quente" do gerador de sinais, conforme mostrado na figura seguinte.

Procedimento: Opere o gerador de sinais na saída de R.F. modulada. Opere o V.E. em sua função "tensão C.A." Sintonize o gerador de sinais para uma leitura de referência no V.E. Depois, insira o pequeno capacitor desconhecido em série com o lide "quente" do gerador e anote novamente a leitura do V.E.

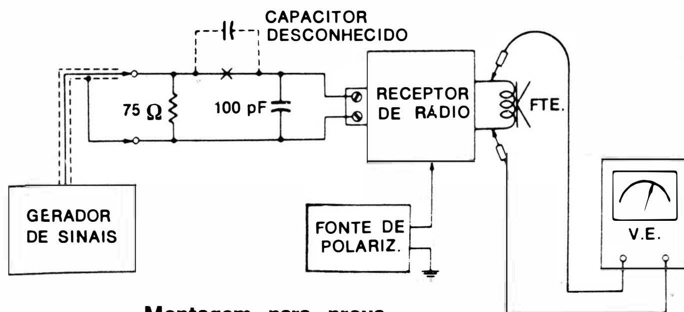
Avaliação dos Resultados: O valor do pequeno capacitor é dado por

$$C = \frac{(E_2 - E_1)\ 100 \times 10^{-12}}{E_1},$$

onde

C é o valor, em pF, do pequeno capacitor desconhecido,
E_1 é a leitura do V.E. com o capacitor desconhecido inserido,
E_2 é a leitura do V.E. sem o capacitor inserido.

A ligação do capacitor de 100 pF aos terminais de antena do receptor faz com que sua impedância de entrada seja es-



Montagem para prova.

sencialmente capacitiva. Assim sendo, a montagem para prova opera como um simples divisor de tensão capacitivo quando o pequeno capacitor desconhecido é inserido. O resultado estará errado na medida em que o receptor não tenha uma impedância de entrada puramente resistiva.

U90

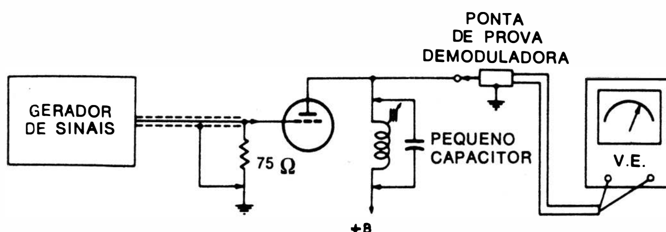
Como Medir a Capacitância Distribuída de uma Bobina

Equipamento: Resistor de terminação de 75 ohms, pelo menos dois pequenos capacitores fixos com valores precisamente especificados, V.E. e ponta de prova demoduladora.

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída terminado do gerador de sinais à grade da válvula que precede a bobina. Ligue a ponta de prova demoduladora à bobina, conforme indicado na figura seguinte. Aplique a saída da ponta de prova à entrada do V.E. Ligue capacitores fixos, um por vez, em paralelo com a bobina.

Procedimento: Sem capacitor em paralelo com a bobina, sintonize o gerador de sinais para uma leitura máxima no V.E. Depois, ligue um pequeno capacitor fixo em paralelo com a bobina e ressintonize o gerador para um pico de leitura no V.E. Repita o procedimento com, pelo menos, mais um capacitor fixo de valor diferente do anterior.

Avaliação dos Resultados: Anote a freqüência de ressonância (leitura pico) em cada um dos testes acima. Calcule o valor de $1/f^2$ em cada teste. Faça um gráfico dos valores dos capacitores ao longo do eixo vertical do papel (tanto



Montagem para prova.

acima como abaixo do ponto zero). Depois, faça com que cada divisão ao longo do eixo horizontal seja igual a um dado valor de $1/f^2$. (O valor considerado dependerá dos valores obtidos para $1/f^2$.) Trace uma linha vertical pelo ponto correspondente a $1/f^2$ da bobina sem capacitor em paralelo. Depois, trace outra vertical para cada capacitor em paralelo, no ponto de $1/f^2$ encontrado. Marque os pontos de intercessão dessas verticais com os valores de capacitância correspondentes. Trace uma linha entre esses pontos e prolongue-a até que intercepte a linha vertical do valor $1/f^2$ para a bobina sem capacitor em paralelo. O ponto onde essas linhas se interceptam indica a capacitância distribuída da bobina.

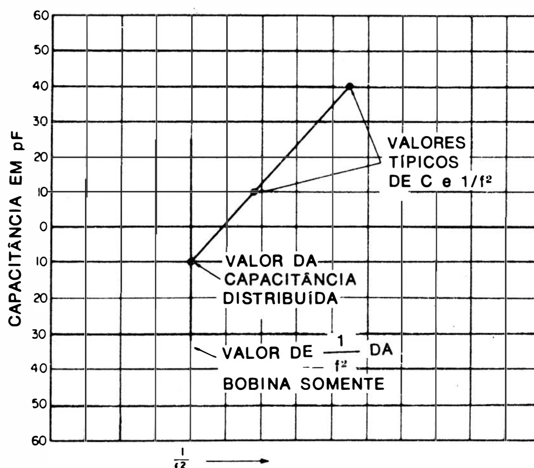


Diagrama de valores.

U91

Como Verificar as Características de um Transformador Sintonizado

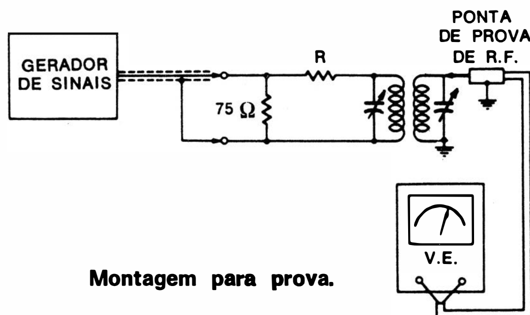
Equipamento: V.E., ponta de prova de R.F., resistor de terminação de 75 ohms e resistor série (valor indicado a seguir).

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída terminado do gerador, através do resistor série R, ao primário do transformador, conforme mostrado no diagrama seguinte. Ligue a ponta de prova de R.F. ao secundário. Aplique a saída da ponta de prova à entrada C.C. do V.E.

Procedimento: Sintonize o gerador de sinais e observe a leitura no V.E. Use a máxima saída.

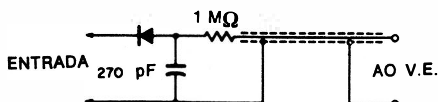
Avaliação dos Resultados: A indicação máxima no V.E. dá a freqüência de ressonância do transformador. Haverá duas indicações máximas se o transformador for superacoplado ou sintonizado em zigue-zague, ou ambos. A seletividade do transformador é dada pela faixa compreendida entre as duas leituras correspondentes a 0,07 da leitura de pico. O ganho do circuito sintonizado pode ser obtido sintonizando o gerador para uma leitura de pico e depois transferindo a ponta de prova para os terminais do primário. A relação entre as leituras no primário e no secundário é o ganho do transformador.

O erro mais comum cometido pelos principiantes neste tipo de prova é omitir o resistor série R. O gerador de sinais tem uma impedância de saída muito baixa. Então, o primário do transformador não pode ser sintonizado normalmente, a menos que seja utilizado um resistor série R com aproximadamente a mesma resistência que a resistência de placa da válvula que antecede o transformador. Os manuais usualmente indicam os valores das resistências de placa típicas das vál-



Montagem para prova.

Circuito de ponta de prova para R.F., de baixa capacitância.



vulas. Por exemplo, uma 6SK7 tem uma resistência de placa de 120.000 ohms, e uma 6J5 tem uma resistência de placa de 7.000 ohms.

U92

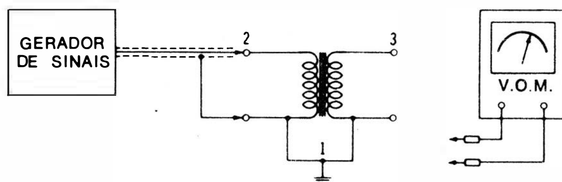
Como Verificar a Polaridade dos Enrolamentos de um Transformador (Saída em Fase ou Fora de Fase)

Equipamento: Transformador e V.O.M.

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída do gerador de sinais a um dos enrolamentos do transformador. Ligue à massa (ou diretamente entre si) uma ponta de cada enrolamento do transformador. Ligue o V.O.M. a um dos enrolamentos (entre os pontos 1 e 2), depois ao outro enrolamento (entre os pontos 1 e 3) e, finalmente, entre os terminais "quentes" de ambos os enrolamentos (entre os pontos 2 e 3).

Procedimento: Opere o V.O.M. em sua função "tensão C.A." Opere o gerador de sinais na saída de áudio de 400 Hz. Anote as leituras do medidor, em cada uma das três provas.

Avaliação dos Resultados: Conforme mostrado na ilustração seguinte, as tensões do primário e do secundário subtraem-se na terceira prova se os terminais "quentes" têm polaridades opostas (estão fora de fase). Por outro



Montagem para prova.

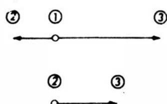


Diagrama das tensões para a condição fora de fase.

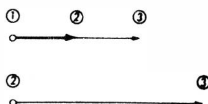


Diagrama das tensões para a condição em fase.

lado, as tensões do primário e do secundário somam-se na terceira prova se os terminais "quentes" tiverem a mesma polaridade (estão em fase).

U93

Como Medir a Impedância de uma Bobina Móvel

Equipamento: Resistor de precisão de 3 ohms e V.E.

Ligações Necessárias: Ligue o resistor e os terminais da bobina móvel ao cabo de saída do gerador, conforme mostrado no diagrama seguinte. Ligue o V.E., sucessivamente, aos terminais do resistor e da bobina móvel.

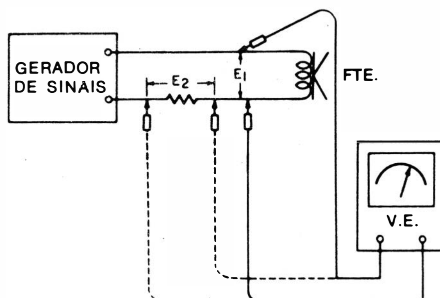
Procedimento: Opere o gerador na saída de áudio de 400 Hz. Opere o V.E. na função "tensão C.A." Observe as leituras de tensão nas duas provas acima.

Avaliação dos Resultados: A impedância da bobina móvel é calculada pela fórmula:

$$Z_{bm} = \frac{E_1}{E_2} \times 3,$$

onde

Z_{bm} é a impedância da bobina móvel,
E_1 é a queda de tensão nos terminais da bobina móvel,
E_2 é a queda de tensão nos terminais do resistor.



Montagem para prova.

O valor da impedância medida nesta prova é a impedância a 400 Hz. A bobina móvel tem outros valores de impedância em outras freqüências. Entretanto, 400 Hz é uma freqüência de referência padrão para esta prova.

U94

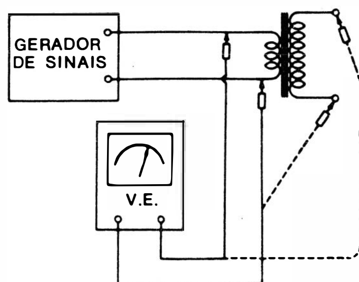
Como Determinar a Relação de Impedâncias de um Transformador de Saída de Áudio

Equipamento: V.E.

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída do gerador ao secundário do transformador de saída. Ligue o V.E. aos terminais do secundário do transformador, e depois aos terminais do primário.

Procedimento: Opere o gerador de sinais na saída de áudio de 400 Hz. Anote as leituras de tensão no primário e no secundário.

Avaliação dos Resultados: Divida a tensão do primário pela tensão do secundário. Eleve ao quadrado este valor para achar a relação de impedâncias do transformador. Por



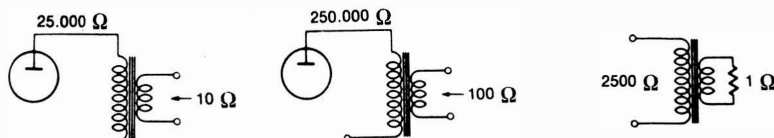
Montagem para prova.

exemplo, se for medido 1 volt no secundário e 50 volts no primário, a relação de tensões é 50:1 e a relação de impedâncias é 2.500:1.

NOTA 49

Reflexão de Impedância pelo Transformador

A **relação** de impedâncias de um transformador é determinada pela relação de espiras entre seus enrolamentos. Se a relação de espiras



Efeito da relação de impedâncias sobre a impedância refletida.

dos enrolamentos é 50 para 1, a relação de impedâncias é o quadrado da relação de espiras, ou 2.500 para 1. A **relação** de impedâncias significa que qualquer valor de impedância ligado a um dos enrolamentos é refletido no outro enrolamento pela relação de impedâncias. Isto é mostrado na ilustração seguinte.

NOTA 50

Necessidade de Casar Impedâncias

As impedâncias devem ser casadas para obter a máxima transferência de potência. As ilustrações seguintes mostram o efeito de impedâncias descasadas. O transformador, em ambos os casos, tem uma relação de impedâncias de 2.500:1. Do mesmo modo, uma carga de 10 ohms é ligada ao secundário de cada transformador. Na ilustração (A), uma válvula com uma impedância de placa de 25.000 ohms é ligada ao primário; portanto, as impedâncias estão casadas, sendo obtida a maior eficiência do circuito. Na ilustração (B), uma válvula com uma impedância de placa de 50.000 ohms é ligada ao primário, e as impedâncias estão descasadas.



(A) Impedâncias casadas. **(B) Impedâncias descasadas.**

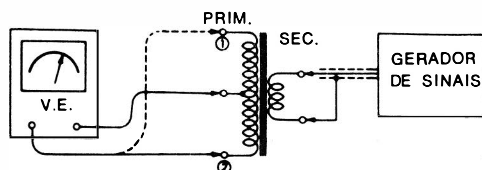
Impedâncias casadas e descasadas.

U95

Como Verificar o Equilíbrio de um Transformador de Saída em Contrafase

Equipamento: V.E.

Ligações Necessárias: Ligue o cabo de saída do gerador de sinais ao secundário do transformador de saída. Ligue o



Montagem para prova

V.E., sucessivamente, entre a tomada central e cada terminal do primário.

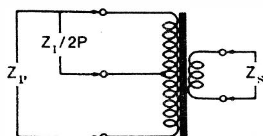
Procedimento: Opere o V.E. na função "tensão C.A." Opere o gerador na função de saída de áudio de 400 Hz. Observe a leitura do medidor em cada uma das duas medidas.

Avaliação dos Resultados: O enrolamento primário estará equilibrado se forem obtidas leituras iguais em cada metade do primário. O desequilíbrio pode resultar de espiras em curto, erros de tolerância na fabricação, ou fuga de bobina para bobina ou da bobina para o núcleo.

NOTA 51

Impedância de um Transformador com Tomada Central

Um estágio em contrafase trabalha com um transformador dotado de primário com tomada central. A relação de impedâncias da metade do primário para o secundário é apenas **um quarto** da impedância do primário completo para o secundário. Para ilustrar este fato, considere o transformador do diagrama seguinte, que tem 1.000 espiras no primário completo (com tomada em 500 espiras) e 10 espiras no secundário. A relação de espiras do primário completo para o secundário é 100 para 1 A relação de impedâncias do primário completo para o secundário é 10.000 para 1 ($Z_p/Z_s = 10.000$). A relação de espiras da metade do primário para o secundário é 50 para 1; portanto, a relação de impedâncias de metade do primário para o secundário é somente 2.500 para 1. ($Z_{1/2p}/Z_s = 2.500$). Como pode ser isto? De fato, isto resulta da indutância mútua entre as metades do enrolamento primário. Um enrolamento com tomada central é, por si só, um transformador (um autotransformador). Se começamos com a indutância de metade do primário, a indutância do primário completo será, então, $2L + 2L_m$, onde L_m é a indutância mútua entre enrolamentos. O acoplamento é máximo (unitário), e assim temos $L_m = L$. Em outras palavras, a indutância total do primário com tomada central é quatro vezes a indutância de metade do primário. A impedância é diretamente proporcional à indutância, uma vez que $Z = X_L$



Transformador de saída com tomada central.

quando a resistência dos enrolamentos for desprezível. Estes fatos ajudam a selecionar um transformador de saída para casar um estágio em contrafase com um alto-falante.

U96

Como Medir a Impedância de Entrada de um Amplificador de Áudio

Equipamento: V.E. e resistor de 100 ohms.

Ligações Necessárias: Ligue o equipamento conforme mostrado no diagrama seguinte.

Procedimento: Opere o gerador de sinais na saída de áudio de 400 Hz. Opere o V.E. na função "tensão C.A.". Meça a tensão E_1 nos terminais de entrada 1 e 2 do amplificador. Depois meça a tensão E_2 nos terminais do resistor de 100 ohms (entre A e B).

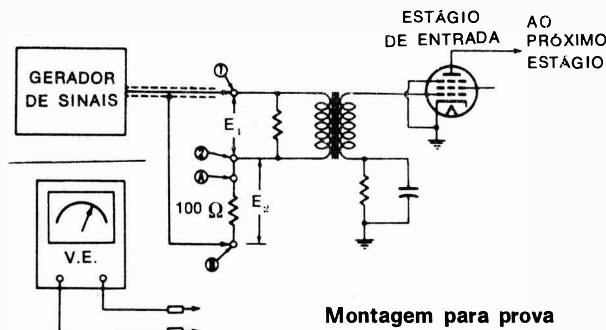
Avaliação dos Resultados: A impedância de entrada do amplificador é calculada pela fórmula:

$$Z_{entrada} = \frac{100\ E_1}{E_2},$$

onde

E_1 é a tensão medida nos terminais do transformador de entrada,

E_2 é a tensão medida nos terminais do resistor de 100 ohms em série com o transformador de entrada.



Montagem para prova

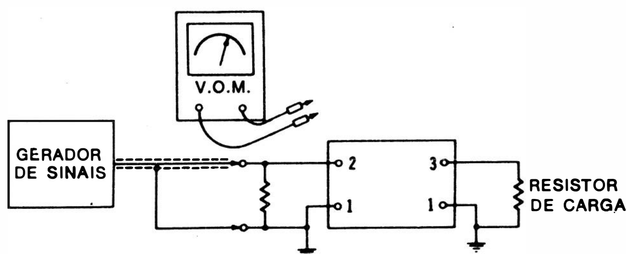
Como Medir o Desvio de Fase entre a Entrada e a Saída de um Amplificador de Áudio

Equipamento: Amplificador de áudio, resistor de terminação, resistor de carga e V.O.M.

Ligações Necessárias: Ligue o equipamento conforme mostrado na ilustração seguinte.

Procedimento: Opere o gerador de sinais em sua saída de áudio de 400 Hz. Opere o V.O.M. em sua função "tensão C.A.". Meça a tensão do ponto 1 para o 2, do ponto 1 para o 3 e do ponto 2 para o 3.

Avaliação dos Resultados: Represente as tensões como linhas de comprimento proporcional, formando com elas um triângulo, conforme mostrado. O desvio de fase entre a entrada e a saída é o ângulo θ. A forma de onda de 400 Hz do gerador precisa ser senoidal, pois de outro modo o teste não será válido. Se o amplificador distorce a forma de onda apreciavelmente, o teste também não é válido.



Montagem para prova.

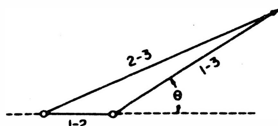


Diagrama das tensões.

APLICAÇÕES DIVERSAS

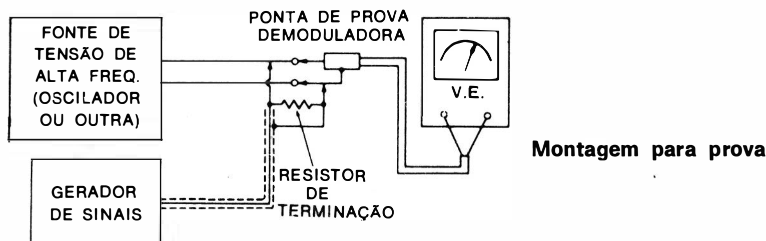
U98

Como Pesquisar as Tensões de Harmônicos numa Forma de Onda de Alta Freqüência

Equipamento: Resistor de terminação, ponta de prova demoduladora e V.E.

Ligações Necessárias: Ligue as saídas da fonte de tensão de alta freqüência e do gerador de sinais à entrada da ponta de prova demoduladora. Aplique a saída da ponta de prova à entrada do V.E.

Procedimento: Sintonize o gerador de sinais e observe a ocorrência de um salto na leitura do V.E. Um crescimento e uma queda na indicação serão observados na freqüência fundamental e nas freqüências harmônicas da fonte de tensão. A maior alteração na leitura ocorre à medida que a freqüência do gerador de sinais é sintonizada na fundamental. A limitação na identificação dos harmônicos ocorre quando a tensão dos harmônicos é uma percentagem demasiadamente pequena da tensão total para se obter um movimento legível do ponteiro. O gerador de sinais usado na prova de pesquisa de tensão de harmônicos precisa ter uma boa saída de onda senoidal, porque os harmônicos do gerador causarão indicações espúrias do medidor.



Montagem para prova

U99

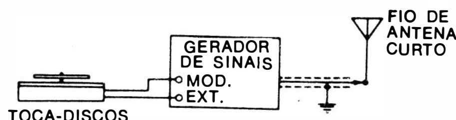
Como Usar um Gerador de Sinais como Toca-Discos sem Fio

Equipamento: Vários metros de fio e um toca-discos.

Ligações Necessárias: Ligue a saída de áudio do toca-discos aos terminais de modulação externa do gerador de sinais. Ligue alguns metros de fio, como uma antena curta, ao lide "quente" do cabo de saída do gerador. Ligue a malha de blindagem do cabo de saída à terra.

Procedimento: Ajuste o gerador de sinais para a máxima saída. Sintonize o gerador de sinais para um ponto vago na faixa de radiodifusão. Ajuste o controle de volume do toca-discos para a melhor saída modulada do gerador.

Avaliação dos Resultados: O nível de entrada de modulação externa estará correto quando a melhor reprodução for obtida em um receptor de rádio próximo. (Deve ser usado um receptor de AM; receptores de FM e TV não são adequados.) A distância na qual este arranjo pode ser usado depende da saída disponível do gerador e do comprimento do fio de antena ligado à saída do cabo do gerador. Entretanto, o alcance não deve exceder os limites domiciliares, por implicações de ordem legal.



Uso de um gerador de sinais como toca-discos sem fio.

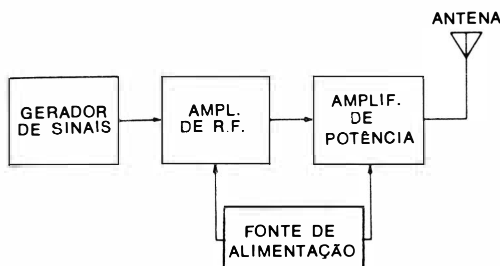
Como Usar um Gerador de Sinais como O.F.V.

Equipamento: Nenhum.

Ligações Necessárias: Ligue a saída do gerador de sinais à entrada do amplificador de R.F. do transmissor.

Procedimento: Sintonize o gerador de sinais para a freqüência desejada. Se o transmissor tiver amplificadores dobradores, sintonize o gerador para um sub-harmônico adequado da freqüência de transmissão desejada.

Avaliação dos Resultados: O gerador opera como um O.F.V. estável, permitindo rápida e precisa mudança para outra freqüência de operação. É desejável calibrar ocasionalmente o gerador por um oscilador a cristal e manter uma tabela de calibração à mão.



Uso de um gerador de sinais como O.F.V.

U101

Como Usar um Gerador de Sinais como Oscilador de Áudio

Equipamento: Gerador de sinais com oscilador a cristal interno, dois resistores de 100 ohms e diodo de cristal 1N34A ou equivalente.

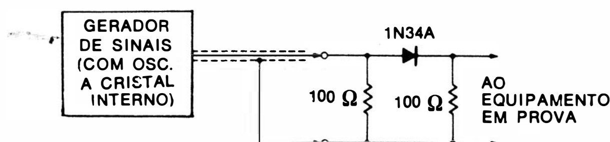
Ligações Necessárias: Ligue o equipamento conforme mostrado no diagrama seguinte.

Procedimento: Ligue o oscilador a cristal. Sintonize o gerador de sinais numa freqüência que esteja afastada da fre-

qüência do cristal de um valor igual à freqüência de áudio desejada.

Avaliação dos Resultados: A saída do modulador contém a freqüência diferença entre as freqüências do gerador e do cristal. A saída é em baixo nível e, portanto, adequada somente para verificação de dispositivos de áudio que tenham um ganho bastante alto.

A saída do modulador contém, também, freqüências de R.F. e a soma das freqüências de R.F. das entradas. Assim sendo, essas freqüências de R.F. devem normalmente ser filtradas na entrada do dispositivo de áudio.



Uso de um gerador de sinais como oscilador de áudio.

ÍNDICE ALFABÉTICO

G

H

I

L

M

N

O

P

R

S

T

U

V

distribuições exclusivas das

Lojas do Livro Eletrônico

Ref. 172 — **CURSO PRÁTICO G.E. DE TELEVISÃO** — Obra de renome internacional, em 14 lições, desde a antena até o cinescópio.





Ref. 650 — **ABC DOS TRANSISTORES** — George B. Mann — Livro que torna acessíveis o funcionamento e os circuitos dos modernos transistores



Ref. 800 — **ABC DA ELETRÔNICA** — Farl J. Waters — Uma cartilha da Eletrônica, seus componentes e circuitos fundamentais.

Ref. 200 — **ABC DAS ANTENAS** — Allan Lytel — Princípios das antenas, tipos práticos para recepção e transmissão.



Ref. 790 — **ABC DA ELETRICIDADE** — Howard W. Sams — Princípios básicos da Eletricidade, dos componentes e circuitos elétricos.





Ref. 675 — **O SELETOR DE CANAIS** — Alcyone Fernandes de Almeida Jr — Conhecimentos indispensáveis ao videotécnico e mais 24 esquemas.

Ref. 560 — TUDO SOBRE ANTENAS DE TV — Gualter Gill — Escolha, construção e instalação de antenas para TV, sistemas coletivos, reforçadores e retransmissores de sinais.





Ref. 780 — COMPONENTES ELETRÔNICOS — Farl J. Waters — Peças eletrônicas, seus princípios, funções e utilização.



Ref. 190 — ABC DO RÁDIO MODERNO — Walter G. Salm — Fundamentos do rádio; desde o centelhador de Hertz à FM-estereofônica.

Ref. 114 — MOTORES ELÉTRICOS — Raul P. Torreira — Princípios, funcionamento, tipos, manutenção, defeitos.



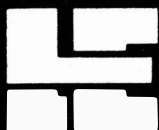
Ref. 275 — GUIA PRÁTICO DO REPARADOR DE TELEVISÃO — Diagnóstico pela observação da imagem.





Ref. 372 — CURSO DE REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA — Tudo o que o mecânico deve saber para instalação, manutenção, diagnóstico e reparação de defeitos.

Lojas do Livro Eletrônico



Caixa Postal 1131 — ZC-00
Rio de Janeiro - GB - Brasil